

Kristian Törnblom

Tarpeenmukainen ilmanvaihto luokkatiloissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

6.6.2013

Tekijä Otsikko	Kristian Törnblom Tarpeenmukainen ilmanvaihto luokkatiloissa
Sivumäärä Aika	39 sivua + 11 liitettä 6.6.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelupainotteinen
Ohjaaja	lehtori Seppo Innanen
<p>Tämä insinöörityö on tehty osana EU:n rahoittamaa Smart Campus hanketta. Hanketta varten perustettiin kolmihenkinen ryhmä talotekniikan koulutusohjelmasta. Ryhmän tavoitteena oli selvittää ja toteuttaa parannustoimenpiteitä Metropolia Ammattikorkeakoulun Leppävaaran ja Myyrmäen kampusten ilmanlaatua, energiatehokkuutta ja viihtyvyyttä koskevissa asioissa.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin Myyrmäen kampuksen uudella puolella sijaitsevaa ilmanvaihtokonetta TK42. Ilmanvaihtokoneen palvelualueen luokkien käyttöprofiili laskettiin tilojen toteutuneiden varausten ja ryhmien keskiarvon perusteella. Laskelmassa saatiin keskimääräiseksi käyttöasteeksi päiväkäytölle 30 % ja iltakäytölle 22 %.</p> <p>Työssä laskettiin hyödyt, jotka saatiin muuttamalla vakioilmavirralla (CAV) toimiva ilmanvaihtokone TK42 tarpeenmukaisesti (DCV) säätyväksi. Käyttöprofiilin avulla laskettiin ilmanvaihtokoneelle uudet osailmavirrat ja niiden osuudet käyttöajasta. Muuttuvalla ilmavirralla (VAV) saavutettiin puhaltimen sähköenergian kulutuksessa 66 % säästö ja ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksessa 57 % säästö.</p> <p>Työn toisena osa-alueena tutkittiin luokkatilojen ilmanlaadun parantamista VAV-järjestelmän avulla. Tarkastelu toteutettiin Metropolian Leppävaaran kampuksen vanhan puolen ilmanvaihtokoneen G312 osalta. Ilmanlaadun määritteleväksi tekijäksi valittiin ilman hiilidioksidipitoisuus. Luokissa todettiin vallitsevan S3-luokan hiilidioksiditaso niiden ollessa täydellä käytöllä. Tilojen käyttöprofiililaskelman mukaan arvioitiin tilojen olevan käytännössä osittain tyhjillään ja käytössä ollessakin harvoin täynnä yhtä aikaisesti. Näin ollen DCV-järjestelmällä arvioitiin saavutettavan lähes S2-luokan hiilidioksidipitoisuudet luokkatiloissa.</p> <p>Energiansäästö ja luokkatilojen ilmanlaatu ovat tärkeitä asioita, joihin tulee kiinnittää huomiota. Tarpeeton ilmanvaihto kuluttaa rahaa ja rasittaa ympäristöä. Luokkatilojen ilmanlaadulla puolestaan on todistettu olevan yhteys koulujen oppilaiden suorituskyvyyssä. Kaikkea säästöjä ei voida mitata suoraan rahassa, vaan investointeja tehtäessä on osattava huomioida myös epäsuorat hyödyt.</p>	
Avainsanat	tarpeenmukainen ilmanvaihto, Smart Campus, WISE

Author Title	Kristian Törnblom Demand controlled ventilation in classrooms
Number of Pages Date	39 pages + 11 appendices 6 June 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor	Seppo Innanen, Senior Lecturer
<p>This final year project investigated the make-up air unit of the ventilation machine at the Myyrmäki campus of Helsinki Metropolia UoAS. Classroom occupancy was calculated based on actual use. Average use of classroom was 30 % during the day and 22 % for the rest of the time.</p> <p>Benefits obtained by replacing the constant airflow ventilation (CAV) with demand control ventilation (DCV) were calculated. New partial air streams were calculated on the basis of classroom occupancy calculations. The change to variable air volume (VAV) cut the electricity consumption of the fan by 66 % and the ventilation heat energy consumption by 57 %.</p> <p>Secondly, the air quality in classrooms at the Leppävaara campus had potential to be improved with a VAV system. Carbon dioxide was selected as the determining factor for air quality. According to the indoor air classification, the classrooms were at S3 level when in full operation. However, the classrooms were rarely full and used at the same time. Thus, the estimated result of the DCV system was at almost S2 class when it came to carbon dioxide concentrations in classrooms.</p>	
Keywords	Demand controlled ventilation, Smart Campus, WISE

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Esitiedot	2
2.1	Smart Campus -hanke	2
2.2	Metropolia Ammattikorkeakoulu	2
2.3	Leppävaaran kampus	3
2.4	Myyrmäen kampus	4
3	Yleistä ilmanvaihdesta	5
3.1	Viihtyvyys	5
3.2	Sisäilmasto	6
3.3	Sisäilman laatu	7
3.4	Sisäilman epäpuhtaudet	9
3.5	Tarpeenmukainen ilmanvaihto	11
3.6	Ilmanvaihdon energiankulutus	11
4	Tarpeenmukainen ilmanvaihto	12
4.1	Tavoitteet	12
4.2	Rajaukset	12
4.3	Wise-järjestelmä	13
4.4	Suunnitelmat	15
5	Laskelmat	15
5.1	Tilojen käyttöprofiili	17
5.2	Puhaltimien kuluttama energia	21
5.3	Ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutus	24
5.4	Elinkaarikustannukset	26
5.4.1	Investointikustannukset	26
5.4.2	Huoltokustannukset	27
5.4.3	Energiasäästöt	27
5.5	Takaisinmaksuaika	29
6	Luokkien ilmanlaadun parantaminen	30

7	Tulokset	33
7.1	Kannattavuus	34
7.2	Sovellukset	34
7.3	Tulosten tarkastelua	35
8	Yhteenveto	36
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. TK42:n palvelualueen luokkien päiväkohtaiset varaukset	
	Liite 2. TK42:n palvelualueen luokkien kuukausikohtaiset varaukset	
	Liite 3. TK42:n palvelualueen luokkien vuoden varaukset	
	Liite 4. Käyttöastelaskelmat	
	Liite 5. Puhallinkäyrästä	
	Liite 6. Moottoritiedot	
	Liite 7. TK42:n palvelualuekuva, 1. kerros	
	Liite 8. TK42:n palvelualuekuva, 2. kerros	
	Liite 9. TK42:n palvelualuekuva, 3. Kerros	
	Liite 10. Energiankulutuslaskelmat	
	Liite 11. Ilmanvaihtokoneen TK42 tiedot	

Lyhenteet

CAV	<i>Constant Air Volume.</i> Vakioilmavirtajärjestelmä
DCV	<i>Demand Controlled Ventilation.</i> Tarpeenmukainen ilmanvaihto.
VAV	<i>Variable Air Volume.</i> Muuttuvailmavirtainen järjestelmä.
VOC	<i>Volatile Organic Compound.</i> Haihtuva orgaaninen yhdiste.

1 Johdanto

Suomen kylmän ilmaston vuoksi rakennusten tuloilman lämmittämiseen kuluu lämmityskaudella paljon energiaa. Tilastokeskuksen mukaan rakennusten lämmittämiseen menee noin 25 % energian loppukäytöstä (1). Kouluissa esimerkiksi luokan, auditorion ja liikuntasalin ilmavirta joudutaan mitoittamaan tilan maksimikuormituksen mukaan. Tilojen käyttöaste vaihtelee kuitenkin tarpeen mukaan, ja esimerkiksi iltakäytössä tarve voi olla hyvinkin pieni. Vakioilmavirtajärjestelmällä toteutetulla ilmanvaihdolla tyhjänä tai vajaana olevan tilan ilmanvaihto kuluttaa energiaa turhaan. Toisaalta viereisen tilan käyttötapa saattaa olla muuttunut, ja mitoitettu ilmavirta ei enää riitäkään suunnitellun sisäilmaolosuhteen ylläpitämiseen. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon lähtökohta on, että ilmaa vaihtuu juuri sen verran kuin on tarve. Säästetty ilma voidaan tilanteesta riippuen hyödyntää energiansäästönä tai toisen tilan ilmanvaihdon tehostamiseen.

Smart Campus on syksyllä 2012 alkanut kansainvälinen kampusalueiden kehittämishanke. Suomen pilottikohteina toimivat Metropolia Ammattikorkeakoulun Leppävaaran sekä Myyrmäen toimipisteet. Hanketta varten perustettiin talotekniikan koulutusohjelmasta kolmihenkinen ryhmä selvittämään kampusten ilmanlaadun, energiatehokkuuden ja viihtyvyyden parantamismahdollisuuksia.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on antaa lukijalleen hyvä käsitys koulujen luokkatilojen ilmanvaihtoon ja ilmanvaihdon tarpeenmukaistamiseen liittyvistä hyödyistä ja haasteista. Työssä lasketaan, mitä saavutetaan vakioilmavirtaisen ilmanvaihtojärjestelmän muuttamisella tarpeenmukaiseksi. Tavoitteena on parantaa ilmanvaihdon energiatehokkuutta sisäilmaolosuhteita heikentämättä. Työssä käsitellään myös mahdollisuutta parantaa sisäilmaolosuhteita tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjauksen avulla

2 Esitiedot

2.1 Smart Campus -hanke

Metropolia Ammattikorkeakoulussa alkoi syksyllä 2012 EU:n CIP-puiteohjelman (Competitiveness and Innovation Framework Programme) hanke nimeltä Smart Campus. Hankkeeseen osallistui yhdeksän oppilaitosta neljästä eri maasta: Suomesta, Ruotsista, Italiasta ja Portugalista. Suomessa hankkeeseen osallistuivat Metropolia Ammattikorkeakoulu, Aalto-yliopisto sekä Enoro.

Smart Campus -hankkeeseen osallistuvat kaikki Metropolian klusterit. Hankkeen tarkoituksena on kehittää kampusalueiden energiatehokkuutta, oppimisympäristöjä, palvelutarjontaan sekä logistisia toimintoja. Toimintojen ja palveluiden tähdättiin parantavan opiskelijoiden ja koko henkilökunnan hyvinvointia, jaksamista ja viihtyvyyttä. Smart Campus oli jatkoa edeltävänä vuonna päättyneelle Save Energy -hankkeelle. Projekti päättyi keväällä 2015.

2.2 Metropolia Ammattikorkeakoulu

Metropolia Ammattikorkeakoulu aloitti toimintansa 1. elokuuta 2008 Helsingin Ammattikorkeakoulu Stadian ja EVTEK-ammattikorkeakoulun yhdistyttyä. Metropoliaassa opetetaan liiketalous-, kulttuuri-, sosiaali- ja terveysalaa sekä tekniikanalaa. Koulutusohjelmia on yhteensä 68, joista 15 englanninkielistä. Keväällä 2013 koulussa opiskeli 16 700 opiskelijaa. Vuonna 2012 ammattikorkeakoulututkinnosta valmistui 2 290 ja ylemmästä AMK-tutkinnosta 210 asiantuntijaa. Metropolialla on yhteensä noin 20 toimipaikkaa. (2.)

Suomessa pilottikohteina toimivat Metropolian Espoossa sijaitseva Leppävaaran kampus sekä Vantaalla sijaitseva Myyrmäen kampus. Molemmat kiinteistöt koostuvat ensin rakennetusta osasta ja jälkeenpäin rakennetusta laajennuksesta.

2.3 Leppävaaran kampus

Leppävaaran kampus (kuva 1) koostuu vuonna 1988 rakennetusta A-osasta sekä vuonna 2002 rakennetusta B-osasta. Kampuksella on noin 2 600 opiskelijaa ja 185 työntekijää. (3.) Leppävaarassa opetetaan esimerkiksi talotekniikkaa, mediatekniikkaa ja tietotekniikkaa. Ilmanvaihtojärjestelmä on jaettu neljään konehuoneeseen.

A-osa

Ilmanvaihto on toteutettu koneellisella tulo- ja poistoilmalla. Konehuoneita on yhteensä kolme, joissa on yhteensä 12 ilmanvaihtokonetta. A-osa on kolmikerroksinen, sen rakennustilavuus on $52\,500\text{ m}^3$ ja bruttoala $12\,130\text{ m}^2$. Tilat koostuvat pääosin luokista, laboratorioista, toimistoista ja auditoriosta. Lisäksi kampuksen liikuntasali sijaitsee A-osan vaikutusalueella. (4.)

B-osa

Uuden puolen konehuoneessa sijaitsee kolme ilmanvaihtokonetta. Ilmanvaihtokoneet on taajuusmuuttajaohjattuja. B-osa on kolmikerroksinen, sen rakennustilavuus on $22\,500\text{ m}^3$ ja bruttoala $4\,590\text{ m}^2$. Tilat koostuvat pääosin luokista, laboratorioista, toimistoista sekä auditoriosta. (4.)



Kuva 1. Metropolia Ammattikorkeakoulun Leppävaaran kampus (3).

2.4 Myyrmäen kampus

Toinen tarkastelukohde oli Metropolian Myyrmäen kampus (kuva 2). Kiinteistö koostuu Leppävaaran kampuksen tavoin kahdesta osasta. A-osa on rakennettu vuonna 1988 ja B-osa vuonna 2001. Kampuksella on noin 2300 opiskelijaa ja 136 työntekijää. (3.) Myyrmäessä opetetaan esimerkiksi automaatiotekniikkaa, liiketaloutta, kemiantekniikkaa, materiaali- ja pintakäsittelytekniikkaa sekä bio- ja elintarviketekniikkaa.

A-osa

Ilmanvaihto on toteutettu koneellisella tulo- ja poistoilmalla. A-osalla on kolme konehuonetta ja yhteensä 13 ilmanvaihtokonetta. Vanha puoli on kaksikerroksinen, sen rakennustilavuus on $53\,500\text{ m}^3$ ja bruttoala $10\,580\text{ m}^2$. Tilat koostuvat esimerkiksi luokista, bio- ja elintarviketekniikan laboratorioista, liikuntasalista sekä auditoriosta. (4.)

B-osa

Uuden puolen konehuoneessa sijaitsee yhdeksän ilmanvaihtokonetta, jotka ovat taajuusmuuttajaohjattuja. B-osa on kolmikerroksinen, rakennustilavuus on $21\,460\text{ m}^3$ ja bruttoala $4\,640\text{ m}^2$. Tilat koostuvat pääosin luokista, laboratorioista, toimistoista sekä suurluokista. (4.)



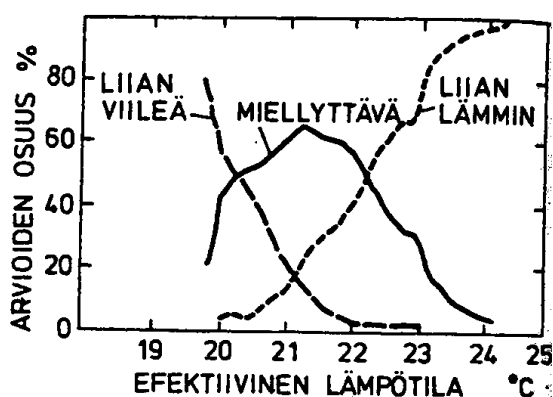
Kuva 2. Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen kampus (3).

3 Yleistä ilmanvaihdosta

Ilmanvaihdon tärkein tehtävä on varmistaa sekä käyttäjälle että rakennukselle turvallinen ja terveellinen sisäilmasto. Ilmanvaihdolla poistetaan rakennuksen sisäilmasta epäpuhtauksia, kosteutta, liiallista lämpöä ja huolehditaan puhtaan tuloilman toimittamisesta. Tyypilliset epäpuhtaudet ovat peräisin ihmisen aineenvaihdunnasta, erilaisista toiminnoista, rakennus- ja sisustusmateriaaleista, ulkoilmasta ja maaperästä. Terveys- haittaa aiheuttaville epäpuhtauksille altistuminen riippuu epäpuhtauspäästöstä, ilmanvaihdosta ja altistusajasta. Ilmanvaihdon riittävyyden varmistamiseksi se mitoitetaan suurimman tarvittavan ilmavirran mukaan. Ilmanvaihdolla voidaan vaikuttaa suoraan tai välillisesti niihin oloihin, jotka aiheuttavat terveyshaittaa. (6, s. 21.)

3.1 Viihtyvyys

Viihtyvyys voidaan määritellä mielentilana, joka ilmaisee tyytyväisyyttä ympäristöön. Viihtyvyyteen vaikuttaa fysikaaliset, fysiologiset ja sosiologiset tekijät. Näin ollen pelkällä tilan suunnittelulla ei voida päästä jokaista tyydyttävään ratkaisuun. On mahdotonta tuottaa jokaista miellyttävät sisäolosuhteet, koska jokainen ihminen on yksilöllinen. Näin ollen sisäolosuhteet pyritään säätämään suurinta osaa miellyttävään tilaan. (6, s. 3.) Kuvasta 3 käy ilmi ihmisten subjektiivinen lämpöaistimus.



Kuva 3. Subjektiivinen lämpöaistimus efektiivisestä lämpötilasta riippuvana (6, s. 12).

Ilmanvaihtoa suunniteltaessa tulisi muistaa välittömän hyödyn lisäksi välillinen hyöty, joka saavutetaan kiinteistössä viihtyvien ihmisten tyytyväisyyden kautta. Käyttäjiä tulisi myös tiedottaa olosuhteista. Pelkällä tiedolla, että viihtyvyyteen on panostettu, saattaa olla vaikutus yksilön viihtyvyyteen.

Oikea huonelämpötila ei vielä takaa viihtyisyyttä. Työskentelytilan viihtyvyyteen vaikuttaa myös ympäröivien pintojen säteily. Operatiivinen lämpötila ottaa huomioon huoneilman lämpötilan ja ihmistä ympäröivien pintojen säteilyn. Operatiivinen lämpötila saattaa poiketa huomattavasti lämpömittarilla mitatusta lämpötilasta. (7, s. 10.)

Lämpötilaviihtyvyys on kokonaisviihtyvyyden osa-alue. Se on tila, jossa henkilö ei osaa sanoa, haluaisiko hän muuttaa ympäristöänsä lämpimämmäksi vai kylmemmäksi. Lämpöviihtyvyyden ehto on kehon ja ympäristön välinen lämpötasapaino, jolloin netto-lämpövirta kehon ja ympäristön välillä on nolla. Elimistön nettolämpövirtaan vaikuttaa aineenvaihdunta, haihtuminen tai lauhtuminen, säteilylämpövirta, kuljettumislämpövirta ja johtumislämpötila. (6, s. 4.)

3.2 Sisäilmasto

Sisäilmasto on sisätilojen fysikaalisten ja kemiallisten tekijöiden muodostama kokonaisuus. Sisäilmasto kattaa lämpöolosuhteet ja kosteuden, ilman laadun, säteilyolosuhteet, valaistuksen ja melun. Ilmanvaihdoilla voidaan vaikuttaa erityisesti lämpötilaolosuhteisiin ja ilman laatuun. (6, s. 3.)

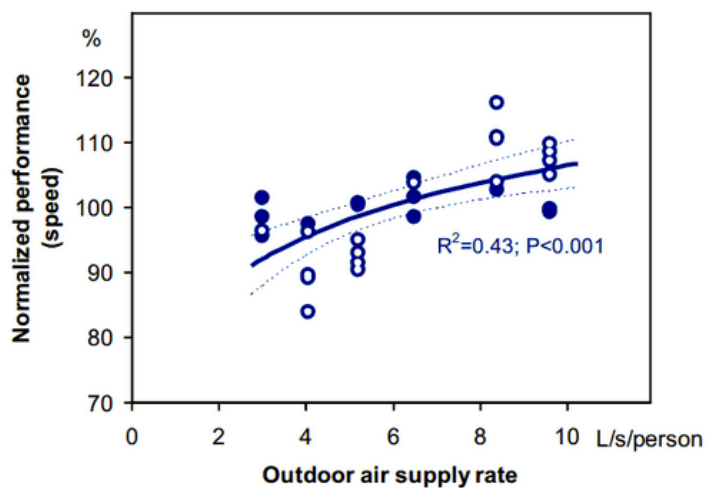
Huoneen lämpötilaolosuhteet vaikuttavat ihmisen viihtyvyyteen ja suorituskykyyn. Lämpötilaolosuhteisiin vaikuttavat ilman lämpötila, pintojen lämpötilat ja säteilyolosuhteet, lämpötilaerot ja vaihtelut, ilmanliike ja -kosteus. Ilman suuri liikenopeus aiheuttaa ihon paikallisen liian voimakkaan jäähtymisen, jota kutsutaan vedoksi. Vedon tunne on lämmön siirtymistä, johon vaikuttaa ilman nopeus, lämpötila ja säteileillä tapahtuva lämmönsiirto. (6, s. 3.)

Ilmanlaadulla on lämpötilaan nähden suurempi vaikutus ihmisen terveyteen. Ilmanlaadun perustana on matala hiilidioksidipitoisuus, puhtaus ja hajuttomuus. Puhtauteen vaikuttavia tekijöitä ovat pöly, epäorgaaniset ja orgaaniset kaasut ja bioaerosolit eli esimerkiksi bakteerit ja itiöt. (6, s. 3.)

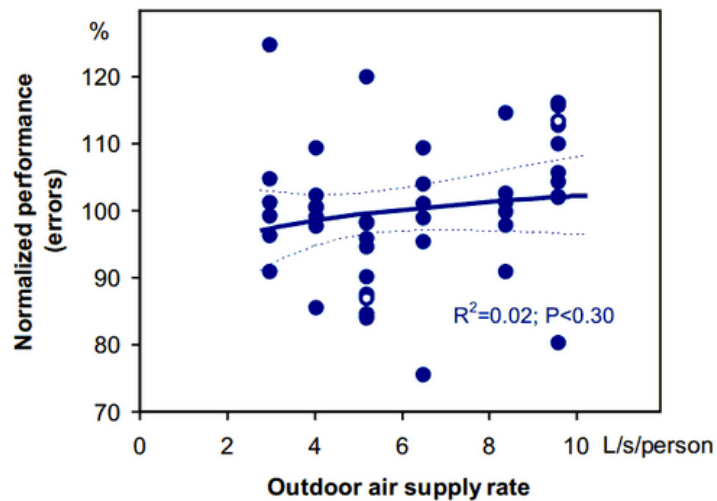
Ilmastointia suunniteltaessa on huomioitava myös sisätilojen äänitaso. Liian suurilla virtausnopeuksilla, huonolla kanaviston suunnittelulla tai väärällä ilmanjaolla voidaan tuottaa häiritsevä määrä melua. Melun häiritsevyyteen vaikuttavat ääniteho, äänen taajuus, kesto, impulssimaisuus ja huoneen ominaisuudet. (6, s. 3.)

3.3 Sisäilman laatu

Ihminen viettää suuren osan ajastaan sisätiloissa. Sisäilman laadulla on yhteys ihmisen hyvinvointiin ja viihtyvyyteen. Sisäilmasta voidaan tinkiä vedoten ihmisen sopeutuvan muuttuneeseen olosuhteeseen. Vaikutukset eivät välttämättä ole välittömiä, mutta sairaukset voivat olla pysyviä. Ilmanvaihdon vähentäminen on kustannustehokas tapa säästää energiaa. (6.) Wargockin & Wyonin (8) tutkimuksen mukaan ulkoilmavirran suuruudella on vaikutus oppimiseen kouluissa. Tutkimuksen tulokset näkyvät kuvissa 4 ja 5.

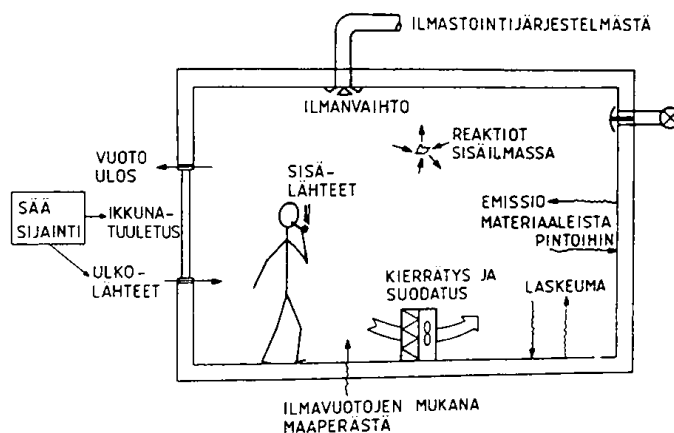


Kuva 4. Ulkoilmavirran suhde oppilaan työskentelynopeuteen (8).



Kuva 5. Ulkoilmavirran suhde oppilaan työskentelytarkkuuteen (8).

Sisäilmalle asetetaan erilaisia vaatimuksia käyttötarkoituksen mukaan. Vaatimuksen saattavat asettaa esimerkiksi tilassa oleskelevat ihmiset, rakenteet, tilassa tapahtuva prosessi tai laitteet (6, s. 31). Kuvassa 6 on esitetty sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä.



Kuva 6. Sisäilmaan vaikuttavat tekijät (6, s. 31).

Ympäristöministeriö on määritellyt Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 sisäilman minimiarvot, jotka on esitetty taulukossa 1. Sisäilman laadulle on olemassa lisäksi Sisäilmayhdistys ry:n laatimat sisäilmaluokitukset. Luokitusten edellyttämät il-mavirrat on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 1. RakMK:n osassa D2 määritetyt vähimmäisilmavirrat oppilaitoksille (9).

TAULUKKO 3. OPPILAITOKSET #1						
Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Opetustilat	6	3		33 / 38 *	0,20 / 0,30	#4, *C1 ohje
Käytävät / Aulat		4		38 / 43		#2
Liikuntasali:						#3
– liikuntasalikäyttö		2		38 / 43	0,30	
– juhlasalikäyttö		6		33 / 38	0,25	
Luentosali	8	6		33 / 38	0,20 / 0,30	#4
Ryhmätyötila	8	4		33 / 38	0,20 / 0,30	#4
Ruokala	6	5		33 / 38	0,25	
Varastot			0,35			#S

#1 Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.

#2 Kiinteiden työpisteiden ilmannoisuuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.

#3 Sisäilmasto ja ilmanvaihto mitoitetaan vaativimman käytön mukaisesti, oltava ohjattavissa tarpeen mukaan eri käyttötilanteisiin.

#4 Tilan ilmanvaihto on oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.

#S Voi käyttää siirtoilmaa

Taulukko 2. Sisäilmayhdistys Ry:n sisäilmaluokkien ulkoilmavirtojen mitoitusarvot (10).

Taulukko 2.4.3. Ulkoilmavirtojen normaalin käyttötilanteen mitoitusarvot tiloissa, jotka täyttävät erittäin vähäpäästöisen rakennuksen kriteerit. Huonelämpötilan hallinta tai varautuminen muuntojoustoön saattavat edellyttää suurempia ilmavirtoja.

Tila	Lattia-ala m ² /hlö	S1-luokka dm ³ /s per henkilö	dm ³ /s per neliö	S2-luokka dm ³ /s per henkilö	dm ³ /s per neliö	S3-luokka/D2 dm ³ /s per henkilö	dm ³ /s per neliö
Toimitila, normaali tilatehokkuus	12	16	1,5	13	1,5		1,5
Toimitila, suuri tilatehokkuus	8	14	2,0	11	1,5		1,5
Neuvotteluhuone	3	12	4,0	9	4,0	8	4,0
Taukotila, kahvio	1,5	11	7,0	8	5,0		5,0
Hotellihuone	10	15	1,5	12	1,0	10	1,0
Käytävä ja porrashuone			1		0,5		0,5
Hissikuilu			8		8		8
Luokkahuone	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0
Luentosali	1	11	10,5	8	7,5	6	6,0
Käytävä, aula koulussa	2	11	5,5	8	4,0		4,0
Aula	6	13	2,0	10	2,0		2,0
Päiväkoti	3	12	4,0	9	2,5	6	2,5
Päiväkodin märkäeteinen (poisto)			5		5		5

3.4 Sisäilman epäpuhtaudet

Hiilidioksidi (CO₂) on normaaliolosuhteissa hajuton ja väritön kaasu. Ulkoilman hiilidioksidin pitoisuus on noin 350 ppm. (5.) Sisäilman hiilidioksidipitoisuus kuvaa ilmanvaihdon riittävyyttä suhteessa ihmisten aiheuttamaan kuormitukseen. Korkea hiilidioksidipitoisuus kertoo puutteellisesta ilmanvaihdosta sekä varoittaa muista mahdollisista epä-

puhtauksista sisäilmassa. Hiilidioksidipitoisuus on yksi ilmanvaihdon mitoituksen peruste. Korkea hiilidioksidipitoisuus aiheuttaa ilman loppumisen- ja tunkkaisuuden tunteet, väsymystä ja päänsärkyä. Tyydyttävä hiilidioksidin sisäilmantaso on alle 1 500 ppm. Sisäilmayhdistyksen määrittämät pitoisuuksien raja-arvot eri ilmastoluokituksille on esitetty taulukossa 3. (5.)

Taulukko 3. Sisäilmayhdistys Ry:n määrittämät sisäilmaluokkien S1, S2 ja S3 pitoisuuksien suurimmat sallitut arvot (5).

	S1	S2	S3	
Hiilidioksidi (CO ₂)	700	900	1200	ppm
Radon (Rn)	100	100	200	Bq/m ³
Ammoniakki (NH ₃)	30	30	40	µg/m ³
Formaldehydi (CH ₂ O)	30	50	100	µg/m ³
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC/TVOC)	200	300	600	µg/m ³
Hiilimonoksidi (CO)	2	3	8	mg/m ³

Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) on satoja. Esimerkiksi formaldehydi (CH₂O) on alifaattinen hiilivety, joka on huoneenlämmössä väritön ja pistävän hajuinen kaasu. Sen lähteitä ovat pääasiassa lastulevyt, parketit, laminaatit ja paneelit, jos näiden liimaukseen on käytetty formaldehydipitoista liimaa. Formaldehydille ominaista on silmien ja limakalvojen ärsytys sekä pistävä haju. Rakennusaineista erittyy myös paljon muita haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. (5.)

Radon (Rn) on hajuton, mauton ja väritön radioaktiivinen jalokaasu. Se aiheuttaa arviolta 300 keuhkosityöpää vuosittain ja riski korostuu tupakoijilla. Radon on radiumin kaa-sumainen hajoamistuote. Pitkän puoliintumisajan vuoksi maaperän radonin tuotto on vakio. (12.)

Ammoniakki (NH₃) on pistävän hajuinen ja huoneenlämmössä väritön kaasu. Sitä vapautuu ilmaan orgaanista materiaalia sisältävien tasoitteiden hajoamisreaktiossa. Muita lähteitä ovat ihminen itse, eritteet, uloshengitysilma, tupakointi ja eräät puhdistusaineet. Ammoniakille ominaista on silmien ja limakalvojen ärsytys. (5.)

Hiilimonoksidi (CO) eli häkä muodostuu hiilipitoisten aineiden epätäydellisen palamisreaktion seurauksena. Häkä on peräisin esimerkiksi tulisijoista, tupakoinnista ja pako-kaasusta. Hiilimonoksidi heikentää hapen siirtymistä verestä kudoksiin ja vähentää hapensaantia. (5.)

3.5 Tarpeenmukainen ilmanvaihto

Tarpeenmukaisesti ohjautuvalla ilmanvaihtoratkaisulla käsitetään järjestelmät tai sen osat, jotka ilmavirtaa säädetään mittausarvon mukaan. Mittaus voi perustua esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuteen, ilman laatuun tai läsnäoloon. Ilmavirran säädölle voidaan asettaa useampia vaiheita. Tilassa voi olla esimerkiksi poissaoloajalle asetettu ilmavirta, kunnes liikeanturi havaitsee tilassa liikettä. Tämän jälkeen ilmavirta kasvaa niin kutsuttuun minimi-ilmavirtaan. Lopulta ilmanlaatu tai lämpöolosuhteet määrittelevät tarvittavan ilmanvaihdon. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voidaan saada merkittävä energiansäästö. (11.)

3.6 Ilmanvaihdon energiankulutus

Ilmanvaihdon energiankulutus on riippuvainen järjestelmän suunnittelusta, toteutuksesta ja ylläpidosta. Lämpöenergian kulutus on riippuvainen siirrettävän ilman lämpötilasta, määrästä ja käyttöajasta. Sähköenergian kulutus puolestaan riippuu useammasta tekijästä, kuten ilmamäärästä, käyttöajasta, painetasosta ja hyötysuhteista. Kiinteistön lämmitykseen kulunutta energiaa ei voida säästää ilmanvaihdon lämpötilaa laskemalla, mikäli lämpöhäviöt on kompensoitava muulla lämmitystavalla. Kuitenkin on tärkeää huomioida, millä tavalla käytetty energia on tuotettu.

Ilmamäärä sen sijaan on riippuvainen paikalla olevien henkilöiden lukumäärästä, tilan käyttötavasta ja muista ilmanvaihtoa edellyttävistä tekijöistä. Näin ollen paikalla olevien ihmisten mukaan voidaan säätää ilmanvaihdon tehokkuutta ja saavuttaa energiansäästöjä. Energiaa säästyy, kun ainoastaan tarvittava määrä ilmaa vaihdetaan. Tällöin ei ole kyse sisäilman laadun heikentämisestä, vaan ilmanvaihdon optimoinnista halutulle tasolle.

Energian kulutuksen vähentämistä ei tulisi verrata suoraan rahaan. Toimenpiteillä voi olla vaikutus asiakkaiden käsitykseen yrityksestä ja tätä kautta rahallistakin vaikutusta. Lisäksi ilman laatua ja energiatehokkuutta parantavilla toimenpiteillä voi olla vaikutus kiinteistön arvoon ja jälleenmyytävyyteen.

4 Tarpeenmukainen ilmanvaihto

4.1 Tavoitteet

Työn tavoitteena oli selvittää, voiko toimivaa ilmanvaihtojärjestelmää parantaa ja mitkä ovat parannuksen vaikutukset. Ilmanvaihtojärjestelmän parannus toteutettiin muuttamalla vakioilmavirtainen järjestelmä tarpeenmukaiseksi. Tarkasteltavan ilmanvaihtokoneen valinnassa suurin kriteeri oli pohdittavan ratkaisun kustannustehokkuus. Näin ollen valittiin ilmanvaihtokone, jonka palvelualueella sijaitisi mahdollisimman suurilla ilmavirroilla mitoitettuja tiloja. Lisäksi olennaista oli, että ilmanvaihtokone soveltui muutoksiin ilman suurempia kustannuksia. Näistä esimerkkinä valmiiksi asennettu taajuudenmuuttaja sekä puhaltimen soveltuvuus tarpeenmukaiseen ohjaukseen.

4.2 Rajaukset

Kustannuslaskelmat rajattiin kattamaan ainoastaan yksi ilmanvaihtokone. Tarkasteltavaksi ilmanvaihtokoneeksi valittiin Myyrmäen kampuksen uuden puolen ilmanvaihtokone TK42. Laskelmissa annettiin suuri painoarvo tilojen käyttöasteen tarkastelulle. Kustannuslaskelmissa otettiin huomioon ilmanvaihtokoneen sekä kanaviston muutokset. Päätelaitteiden katsottiin soveltuvan tarpeenmukaiselle ilmanvaihdolle, joten ne rajattiin varsinaisen tarkastelun ulkopuolelle.

Tarpeenmukainen ilmamääräsäätö rajattiin kattamaan ainoastaan luokkahuoneet. Työhuoneiden ja neuvotteluhuoneiden nähtiin olevan niin suurella käytöllä, että ilmamääräsäädöllä saavutettavat säästöt olisivat jääneet muutoksien kustannuksiin nähden vähäisiksi.

Hankkeen resurssien rajallisuuden vuoksi olosuhdesimulointeihin ei ollut mahdollisuutta. Projektin aikana henkilökunnalta ja opiskelijoilta saadun suullisen palautteen perus-

teella tarkasteltavien tilojen lämpötilat kohoavat päivällä korkeiksi. Tämän vuoksi tuloksia on katsottava kriittisesti ja tiedostettava, että todelliset hyödyt voivat poiketa laskelmista.

4.3 Wise-järjestelmä

Smart Campus-hankkeen yhteistyökumppaniksi valikoitui muun muassa sisäilmajärjestelmiä ja -laitteita kehittävä ja myyvä Oy Swegon Ab, jolla oli koululuokkiin soveltuvia ratkaisuja. Pilottiluokkien järjestelmien tuli olla sujuvasti integroitavissa olemassa olevaan automaatiojärjestelmään. WISE-järjestelmä edustaa Swegonin seuraavan sukupolven tarveohjattua ilmanvaihtojärjestelmää.

WISE-järjestelmällä säädetään tarvittava ilmamäärä yksittäisiin tiloihin tai useamman tilan muodostamalle alueelle. Järjestelmä voi, sen koosta riippuen, koostua pelkästään huonekohtaisista säätöpelleistä (ADAPT Damper) ja/tai ADAPT-päätelaitteista. (13.)

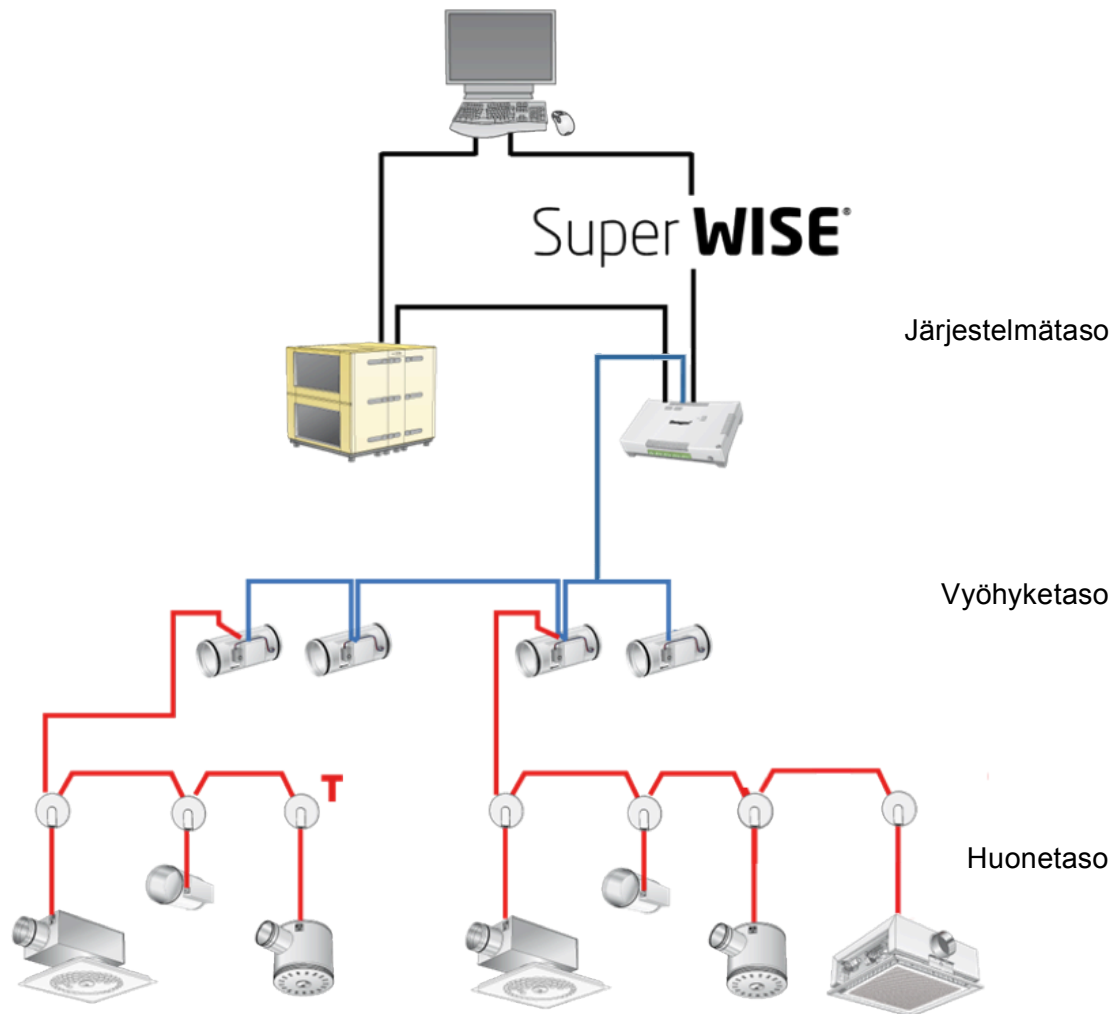


Kuva 7. Swegon ADAPT Damper (13).

ADAPT Damper (kuva 7) on tulo- ja poistoilmakanavaan, runkokanavan esimerkiksi luokan haaraan, asennettava WISE-järjestelmän älykäs ilmavirtasäädin. Se säätelee oikean ilmavirran esiasetetuilla poissaolo-, minimi- ja maksimi-ilmavirroilla. Säätimessä on sisäänrakennettu lämpötila-anturi, ja se voidaan varustaa ilmanlaatua tarkkailevalla

seoskaasuanturilla (CAC). ADAPT-päätelaite on aktiivinen päätelaite, johon on integroitu säädin, moottori ja anturit. (13.)

Järjestelmän koosta ja luonteesta riippuen se voidaan jakaa vyöhykkeisiin. Jokaista vyöhykettä säädetään vyöhykesäätöpelleillä (CONTROL Zone). Kuva 8 selventää huonetason, vyöhyketason ja järjestelmätason muodostumista. (13.)



Kuva 8. Swegon WISE -järjestelmäkaavio (21).

4.4 Suunnitelmat

Ilmamääräsäätö suunniteltiin ainoastaan luokkatiloihin. Runkokanavasta lähtevään luokan kanavahaaraan sijoitettiin normaalin säätöpellin tilalle Swegonin ADAPT Damper tulo- ja poistokanavaan. Sijoittaminen tapahtui käytävän puolelle huollettavuuden helpottamiseksi ja mahdollisten äänihaittojen välttämiseksi.

Poistoilmakanavan ADAPT Damperin lämpötila-anturi ja CAC-anturi tarkkailevat poistoilman lämpötilaa ja laatua. Mittauksen perusteella säädin säätyy tarvittavalle ilmavirrälle. Tilan poissaolon ilmavirta on asetettu jokaiselle luokalle 0,5 litraan sekunnissa neliometriä kohden. Läsäoloanturin havaitessa luokassa liikettä, ilmavirta säätyy minimi-ilmavirrälle litraan sekunnissa neliometriä kohden. Tämän jälkeen automaatio lisää ilmavirtaa tilan tarpeen mukaan aina neljään litraan sekunnissa neliometriä kohden

On hyvin epätodennäköistä, että tilat ovat yhtä aikaisesti käytössä mitoitettulla käyttäjämäärällä. Tämä on huomioitu säätimien valinnassa niin, että tilaan on mahdollista tuoda suurempi määrä ilmaa, kuin mitä sinne on mitoitettu. Tilanne mahdollistaa niin sanotun ylikäytön ilmanlaadun heikentyessä mitoitusilmavirralla yli asetusarvon. Ylikäytön mahdollisuus tulee kuitenkin tarkistaa tilakohtaisesti, ja ongelmaksi saattavat muodostua ääni- ja virtaustekniset tekijät.

5 Laskelmat

Molempien kampusten ilmanvaihto on toteutettu vakioilmavirtajärjestelmällä, Leppävaaran kampuksen B-puolen auditorion ilmanvaihtokonetta G343 lukuun ottamatta. Suurten ihmismäärien vuoksi, tilojen mitoitusilmavirrat ovat suuria. Tilat eivät kuitenkaan ole käytössä aina, ja käytössä ollessakaan niissä harvemmin on tilan mitoituksessa käytetty ihmismäärä.

Ilmanvaihtokoneet on suunniteltu palvelemaan tiettyä tarkoitusta, kuten luokkia ja toimistoja, liikuntasalia tai ruokalaa ja keittiötä. Luokkien ja toimistojen ilmanvaihdon tarve vaihtelee hyvin paljon riippuen tilojen varauksista ja ryhmien suuruudesta. Kampuksien käyttö jakautuu päivä- ja ilta- sekä viikonloppukäyttöön. Etenkin ilta- sekä viikonloppukäytössä säästöt voivat olla merkittäviä.

Taulukko 4. Ilmanvaihtokoneen TK42 tiedot.

	TF42	PF42
Tyyppi	EULB-41-2-3-5-1-04-1-2	EULB-41-2-3-5-1-01-1-1
Ilmavirta, q_v (m ³ /s)	4,2	4,1
Kokonaispaineentuohto, d_p (Pa)	915	775
Teho, P (kW)	4,8	4,0
N (%)	78	80
Puhallin	APAL-4-00750	APAL-4-00550-2-0
Teho, P (kW)	7,5	5,5

Tarkasteltavan ilmanvaihtokoneen (TK42) tiedot ovat taulukossa 4. palvelualueeseen kuuluu ATK-luokkia, toimistohuoneita sekä neuvottelutiloja. ATK-luokat oli mitoitettu suurelle ihmismäärälle ja tilojen käyttöaste vaihteli suuresti. Toimistohuoneiden ilmavirta oli luokkiin nähden pieni, jonka vuoksi niiden kohdalla tarpeenmukaisen ilmanvaihdon hyöty oli tarkoin punnittava. Neuvottelutilojen ilmavirrat olivat toimistoihin nähden suuret. Tilojen sijainnit ja ilmavirrat selviävät taulukosta 5.

Taulukko 5. TK42:n palvelualueen tilojen käyttötarkoitus, sijainti, lukumäärä ja ilmavirrat.

Kerros	Tila	Lukumäärä	Tilan ilmavirta	Summa
1.	Toimisto	8 kpl	± 20 l/s	± 160 l/s
2.	ATK-luokka	1 kpl	± 320 l/s	± 320 l/s
2.	Toimisto	8 kpl	± 20 l/s	± 160 l/s
3.	ATK-luokka	8 kpl	± 320 l/s	± 2 560 l/s
3.	Toimisto	8 kpl	± 20 l/s	± 160 l/s
3.	Neuvottelutila	1kpl 1kpl	± 100 l/s ± 120 l/s	± 220 l/s
1.-3.	Käytävät ja aula			+ 620 l/s - 520 l/s

Tässä työssä tarkastelu rajattiin kattamaan ainoastaan ATK-luokat. ATK-luokkien ilmavirtojen osuus TK42:n tuloilmavirrasta oli 69 % ja poistoilmavirrasta 70 %.

5.1 Tilojen käyttöprofiili

Nykyisen vakioilmavirtaisen (CAV) järjestelmän ilmavirtojen mitoituksen perusteena oli ollut tilojen 100-prosenttinen käyttöaste. Muuttuvailmavirtaisen (VAV) järjestelmän säästömahdollisuuksien selvittämiseksi arvioitiin tilojen käyttöprofiili. Käyttöprofiilin laskentaan on olemassa valmiita ohjearvoja, joita käytetään suuntaa antavina sekä rakennuksen mitoituksessa. Taulukosta 6 selviävät Sisäilmayhdistys ry:n Sisäilmastoluokituksen 2008 määrittämät ohjearvot.

Taulukko 6. Sisäilmastoluokituksen 2008 mukaiset käyttöprofiilin arvot (10).

Tila	Käyttöaika	Käyttöaste	Henkilötiheys
Luokat	08:00-16:00 (8h vrk, 5vrk/vko)	0,5	2 m ² /hlö
ATK-luokat	08:00-16:00 (8h vrk, 5vrk/vko)	0,6	2 m ² /hlö
Toimistot	07:00-16:00 (8h vrk, 5vrk/vko)	0,55	12 m ² /hlö

Taulukosta 7 selviää Helsingin kaupungin palvelurakennusten matalaenergiarakentamisohjeen ilmanvaihdon käyntiajan ja tehon suhde. Arvoja käytetään suunnittelun lähtötietoina.

Taulukko 7. Helsingin kaupungin palvelurakennusten matalaenergiarakentamisohjeen käyttöprofiilien arvot (14).

Teho	Osuus käyntiajasta
1/1	20 %
2/3	60 %
1/3	20 %

Smart Campus -hankkeen yhteydessä kerättiin tarkempaa laskelmaa varten tietoja tilojen varauksista ja ryhmien koosta. Tilojen käyttö vaihteli vuorokauden ajan lisäksi opiskelujakson mukaan. Käyttöprofiilin määrittämiseen käytettiin Metropolian strategia-osastolta saatuja analyysseja tuntiresursoinneista. (15.)

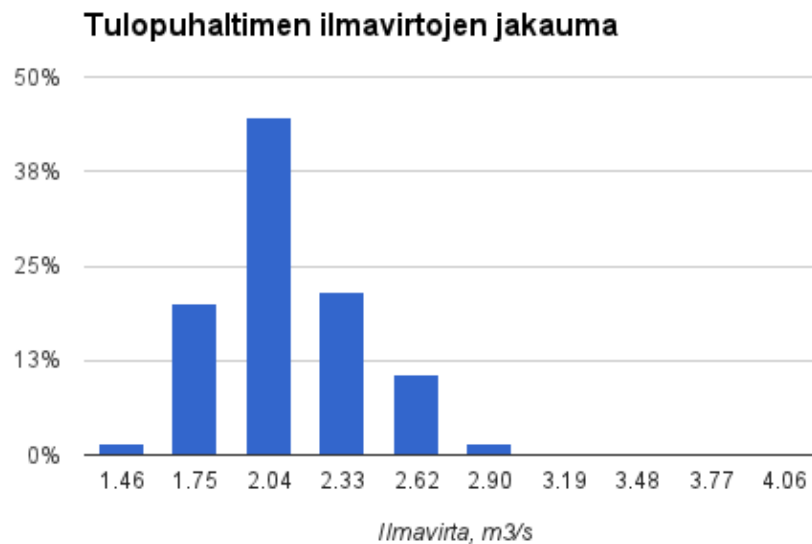
Suuntaa antavat lukuvuoden 2011–2012 toteutusten keskimääräiset opiskelijamäärät saatiin Metropolian tilanvarausjärjestelmästä (16). Lisäksi haastateltiin Myyrmäen tilojen varauksesta vastaavaa henkilöä, keneltä saatiin tarkempi käsitys tarkasteltavan alueen luokkien opiskelijamääristä (17). Keskimäärin luokassa on 25 ihmistä opettaja mukaan lukien. Tilojen varausasteen arvioimiseen hyödynnettiin Myyrmäessä suoritettuja tilojen käyttöaikaseurantoja. (18.) Käyttöaikaseurantoja täydennettiin tilavarausjärjestelmästä saaduilla tiedoilla.

Luokille laadittiin käytön todennäköisyys jokaiselle viikon tunnille ilmanvaihtokoneen käyntiaikana. Iltakäytölle ei löytynyt tuntikohtaista tietoa, joten jokaiselle illalle laskettiin kiinteä käyttöaste. Taulukon 8 vasemmalla puolella on tilojen varauksen jakautuminen ja oikealla puolella käyttäjämäärien suhteella tilan mitoitettuun käyttäjämäärään painotettu varauksien käyttöaste. Taulukosta nähdään eri käyttöasteiden esiintymisen todennäköisyydet.

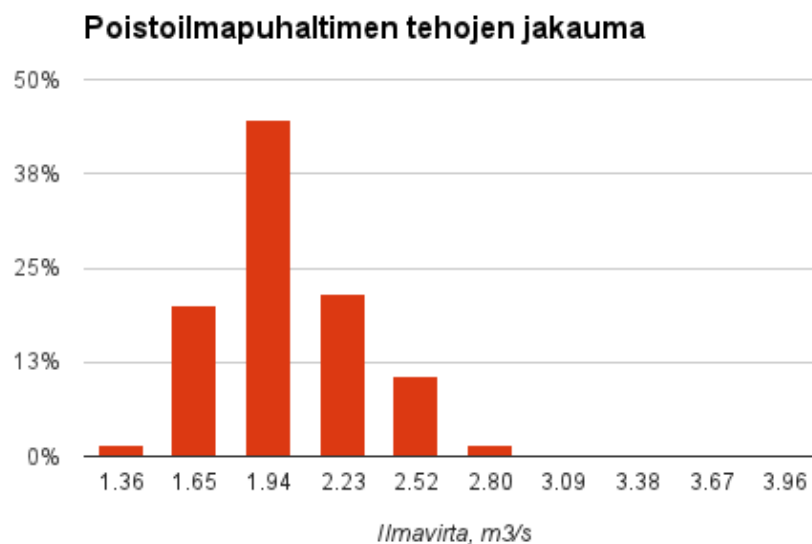
Taulukko 8. Tilojen varauksien jakautuminen ja varausten painottaminen käyttäjämäärillä.

Tilojen varauksien jakautuminen						Tilojen käyttöaste					
	Ma	Ti	Ke	To	Pe		Ma	Ti	Ke	To	Pe
päivä 8-9	35%	44%	41%	51%	40%	päivä 8-9	22%	27%	26%	32%	25%
9-10	38%	48%	45%	57%	45%	9-10	24%	30%	28%	36%	28%
10-11	44%	55%	52%	65%	51%	10-11	27%	34%	32%	41%	32%
11-12	55%	69%	65%	81%	64%	11-12	34%	43%	40%	51%	40%
12-13	53%	67%	63%	78%	62%	12-13	33%	42%	39%	49%	39%
13-14	46%	57%	54%	68%	53%	13-14	29%	36%	34%	42%	33%
14-15	37%	46%	43%	54%	43%	14-15	23%	29%	27%	34%	27%
15-16	29%	37%	35%	43%	34%	15-16	18%	23%	22%	27%	21%
16-17	15%	18%	17%	22%	17%	16-17	9%	11%	11%	14%	11%
ilta 17-18	27%	44%	44%	35%	23%	ilta 17-18	17%	27%	27%	22%	14%
18-19	27%	44%	44%	35%	23%	18-19	17%	27%	27%	22%	14%
19-20	27%	44%	44%	35%	23%	19-20	17%	27%	27%	22%	14%
20-21	27%	44%	44%	35%	23%	20-21	17%	27%	27%	22%	14%

Kuvista 9 ja 10 näkee tulo- ja poistoilmapuhaltimien ilmavirtojen jakauma tyypilliselle päivälle. Muiden tilojen ilmanvaihdon osuus tuloilmavirrasta oli 31 % vastaten ilmavirtaa 1 320 l/s ja vastaavasti poistoilmavirrasta 30 % vastaten ilmavirtaa 1 220 l/s.



Kuva 9. Tuloilmapuhaltimen ilmavirtojen jakauma tyypilliselle päivälle.



Kuva 10. Poistoilmapuhaltimen ilmavirtojen jakauma tyypilliselle päivälle.

Luokat on mitoitettu S2-luokan edellyttämällä ilmavirralla 4 l/s neliometriä kohden. Tarpeenmukaisia ilmavirtoja laskettaessa käytettiin S2-luokan edellyttämää ilmavirtaa 8 l/s

henkilöä kohden. (Taulukko 2.) Päivä- ja iltakäyttö laskettiin erikseen. Päiväkäyttö koski aikaväliä kello 08:00–17:00 ja iltakäyttö aikaväliä kello 17:00–21:00.

Nuorten koulutusohjelma vuosi koostui viikkojen 2–19 ja 35–51 opetuksesta. Viikot 10, 19, 42 ja 51 olivat tenttiviikkoja, jolloin opetusta ei järjestetty tai sitä oli hyvin rajoitetusti. Viikot 8, 14 sekä 43 olivat projektiviikkoja, jolloin lukujärjestyksen mukaista opetusta ei ollut. Projektiviikkojen aikana järjestettiin aikuispuolen opiskelijoiden intensiiviviikkoja, jolloin tilat olivat tavallista vähäisemmällä käytöllä. Metropolian tilanvarausjärjestelmän mukaiset luokkatilojen varaukset selviävät liitteistä 1–3.

Luokkien käyttöasteen laskentaan kehitettiin kaava 1. Se ottaa huomioon tilojen varausasteen, ryhmien keskiarvon suhteessa mitoitettuun luokkakokoon sekä päiväkäytön ja iltakäytön keston. Liitteestä 4 löytyvistä käyttöaikaseurannoista voitiin laskea ATK-luokkien keskimääräisen käyttöasteen olevan päiväkäytössä 47 % ja iltakäytössä 34 %.

Luokkien ilmamäärät on mitoitettu riittämään 40 ihmiselle S2-luokan edellyttämällä ilmavirralla 8 l/s henkilöä kohden. Luokkien keskimääräiseksi käyttäjämääräksi arvioitiin kuitenkin vain 25 ihmistä, jolloin todellisen ja mitoitettun ihmismäärän suhteeksi saatiin 63 %. Näin ollen ihmismäärän huomioiva käyttöaste jäi päiväkäytössä 30 prosenttiin ja iltakäytössä alle 22 prosenttiin. Päivä- ja iltakäytön kestolla suhteutetuksi keskimääräiseksi vuorokautiseksi käyttöasteeksi saatiin 27 %.

$$K_t = \Sigma \left(V_{\text{päivä}} * \frac{R_{\text{päivä}}}{R_{\text{mitoitus}}} \right) * \frac{t_{\text{päivä}}}{n * \Delta t} + \Sigma \left(V_{\text{ilta}} * \frac{R_{\text{ilta}}}{R_{\text{mitoitus}}} \right) * \frac{t_{\text{ilta}}}{n * \Delta t} \quad (1)$$

K_t	on tilojen käyttöaste, tyypillinen päivä [%]
$V_{\text{päivä}}$	on tilan varausaste päiväkäytössä (viikon keskiarvo) [%]
V_{ilta}	on tilan varausaste iltakäytössä (viikon keskiarvo) [%]
$R_{\text{päivä}}$	on ryhmien koko päiväkäytössä (keskiarvo) [hlö]
R_{ilta}	on ryhmien koko iltakäytössä (keskiarvo) [hlö]
$t_{\text{päivä}}$	on päiväkäyttöaika [h]
t_{ilta}	on iltakäyttöaika [h]
Δt	on vuorokautinen käyttöaika [h]
n	on tilojen lukumäärä

5.2 Puhaltimien kuluttama energia

Tyypillinen käyntiaika kattaa kaikki vuoden 2012 päivät, jolloin koulu on ollut normaalissa käytössä. Tyypillinen käyntiaika esiintyi 164 kertaa kuluneen vuoden aikana. Riittävän tarkkuuden saamiseksi toimintapiste määritettiin neljälle tilanteelle. Laskennassa käytetyt ilmavirrat ja käyntiaikojen osuudet näkyvät taulukossa 9.

Poikkeuksellinen käyntiaika esiintyi 122 kertaa kuluneen vuoden aikana. Poikkeuksellinen käyntiaika puolestaan kattaa esimerkiksi tenttiviikkojen ja lomakausien käyttöajan. Poikkeuksellisen käyntiajan ilmamäärän tarve oletetaan olevan samalla tasolla kuin tyypillisen käyntiajan laskennassa käytetty pienin ilmavirta. Käytännössä ilmavirta voi olla pienempi, mutta puhaltimen teknisten ominaisuuksien vuoksi ilmavirtaa ei ole järkevää laskea liian alhaiseksi.

Taulukko 9. Laskennassa käytetyt tulo- ja poistoilmapuhaltimen ilmavirrat sekä tyypillisen ja poikkeuksellisen ilmavirran osuudet ilmanvaihtokoneen käyttöajasta.

	Ilmavirta		Ilmavirran osuus käyntiajasta	
	Nykyinen	Uusi	Tyypillinen	Poikkeuksellinen
Tuloilmapuhallin	4,2 m ³ /s		100 %	100 %
		2,62 m ³ /s	12 %	
		2,33 m ³ /s	22 %	
		2,04 m ³ /s	45 %	
		1,75 m ³ /s	21 %	100 %
Poistoilmapuhallin	4,1 m ³ /s		100 %	100 %
		2,52 m ³ /s	12 %	
		2,23 m ³ /s	22 %	
		1,94 m ³ /s	45 %	
		1,62 m ³ /s	21 %	100 %

Puhaltimen energiankulutuksen laskemiseksi määritettiin tulo- ja poistoilmapuhaltimelle uusi kokonaispaineentuotto. Kokonaispaineentuottoon vaikuttavat kanaviston ja ilmanvaihtokoneen painehäviöt. Painehäviö on verrannollinen tilavuusvirran toiseen potenssiin. Uudet painehäviöt lasketaan yhtä suurille kanaville, jolloin voidaan käyttää kaavaa 2. Jokaiselle uudelle tilanteelle määritettiin uudet puhaltimen, moottorin, hihnan ja taaajuudenmuuttajan hyötysuhteet.

$$p_2 = p_1 * \left(\frac{q_{v2}}{q_{v1}}\right)^2 \quad (2)$$

p_1 on vanha painehäviö [Pa]

p_2 on uusi painehäviö [Pa]

q_{v1} on vanha ilmavirta [m^3/s]

q_{v2} on uusi ilmavirta [m^3/s]

Uudet puhaltimien tehot lasketaan kaavan 3 avulla jakamalla ilmavirran ja paineenkorotuksen tulo hyötysuhteella. Puhaltimen sähkönottotehon kaava pätee sekä tulo- että poistoilmavirroille.

$$P_{\text{puhallin}} = \frac{q_v * \Delta p}{\eta} \quad (3)$$

P_{puhallin} on sähkönottoteho, puhallin [kW]

q_v on tilavuusvirta [m^3/s]

$\Delta p_{\text{puhallin}}$ on paineenkorotus, puhallin [Pa]

η on kokonaishyötysuhde, puhallin

Puhaltimen sähkönkulutus lasketaan suunnitellun ominaissähköteton, ilmavirran ja käyntiajan tulona kaavan 4 mukaan. Neljälle valitulle tilanteelle laskettiin sähköenergiankulutus erikseen ja niistä muodostettiin vuoden sähköenergiankulutus. Puhaltimien sähköenergiankulutus on tulo- ja poistoilmapuhaltimen sähköenergiankulutuksen summa.

$$W_{\text{puhallin}} = \sum (P_n * \Delta t_n) \quad (4)$$

$W_{\text{ilmanvaihto}}$ on puhaltimen sähköenergiankulutus [kWh/a]

P_n on puhaltimen teho osailmavirralla n [kW]

Δt_n on puhaltimen käyttöaika vuodessa osailmavirralla n [h/a]

Sähköenergiankulutus vakioilmavirtajärjestelmällä:

TK42-TF42

6,76 kW * 13 h/vrk * 164 vrk * 100 % = 14,41 MWh/a

6,76 kW * 8 h/vrk * 122 vrk * 100 % = 6,60 MWh/a

Tuloilma = 21,01 MWh/a

TK42-PF42

5,18 kW * 13 h/vrk * 164 vrk * 100 % = 10,90 MWh/a

5,18 kW * 8 h/vrk * 122 vrk * 100 % = 4,99 MWh/a

Poistoilma = 15,90 MWh/a

Summa = 36,90 MWh/a

Sähköenergiankulutus WISE-järjestelmällä:

TK42-TF42

3,57 kW * 13 h/vrk * 164 vrk * 12 % = 0,91 MWh/a

2,89 kW * 13 h/vrk * 164 vrk * 22 % = 1,36 MWh/a

2,23 kW * 13 h/vrk * 164 vrk * 45 % = 2,14 MWh/a

1,66 kW * 13 h/vrk * 164 vrk * 21 % = 0,74 MWh/a

1,66 kW * 8 h/vrk * 122 vrk * 100 % = 1,62 MWh/a

Tuloilma = 6,77 MWh/a

TK42-PF42

$$2,83 \text{ kW} * 13 \text{ h/vrk} * 164 \text{ vrk} * 12 \% = 0,72 \text{ MWh/a}$$

$$2,31 \text{ kW} * 13 \text{ h/vrk} * 164 \text{ vrk} * 22 \% = 1,09 \text{ MWh/a}$$

$$1,90 \text{ kW} * 13 \text{ h/vrk} * 164 \text{ vrk} * 45 \% = 1,82 \text{ MWh/a}$$

$$1,52 \text{ kW} * 13 \text{ h/vrk} * 164 \text{ vrk} * 21 \% = 0,68 \text{ MWh/a}$$

$$1,52 \text{ kW} * 8 \text{ h/vrk} * 122 \text{ vrk} * 100 \% = 1,48 \text{ MWh/a}$$

$$\text{Poistoilma} = 5,79 \text{ MWh/a}$$

$$\text{Summa} = 12,57 \text{ MWh/a}$$

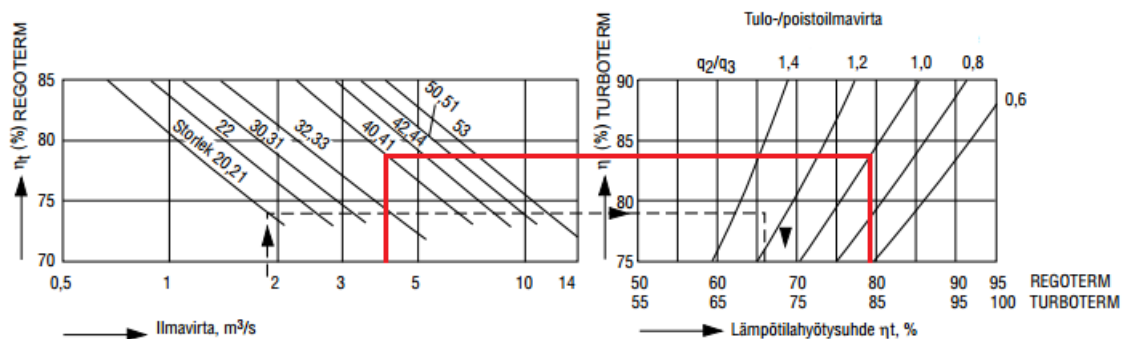
$$\text{Säästö} = 24,33 \text{ MWh/a}$$

$$\text{Muutos} = - 66 \%$$

5.3 Ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutus

Ilmanvaihtokoneessa TK42 on regeneratiivinen lämmönsiirrin, mallia EURA-41-1-2-2-1-

2. Vuosihyötysuhde saadaan valmistajan kuvan 11 mukaan.



Kuva 11. Pyörivän lämmönsiirtimen lämpötilahyötysuhde. Fläkt Woods Eura. (19.)

Tuloilmapatterin vuotuinen energiankulutus lasketaan kaavalla 5. Lämmöntalteenoton vuotuinen hyötysuhde lasketaan kaavalla 6.

$$Q_{\text{lämmitys,jlp}} = \rho_i C_{pi} q_{v,tulo} t_d t_v r (T_{tulo} - T_u - \eta_{t,a} (T_s - T_u)) \Delta t / 1000 \quad (5)$$

$$\eta_{t,a} = \frac{\eta_a}{R} \quad (6)$$

$Q_{\text{lämmitys,jlp}}$	on tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutus [kWh]
ρ_i	on ilman tiheys [kg/m^3]
C_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti [Ws/(kgK)]
$q_{v,tulo}$	on tuloilmavirta [m^3/s]
t_d	on IV:n keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde [$\text{h}/24 \text{ h}$]
t_v	on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde [$\text{vrk}/7 \text{ vrk}$]
r	on muuntokerroin, joka ottaa huomioon IV:n vuorokautisen käyntiajan
$\eta_{t,a}$	on lämmöntalteenoton tuloilman vuotuinen lämpötilasuhde
η_a	on lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde
R	on tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan
T_s	on sisäilman lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]
T_u	on ulkoilman lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]
Δt	on ajanjakson pituus [h]
1000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Lämmitysenergiankulutus vakioilmavirtajärjestelmällä:

TK42-JLP

4,20 m^3/s (13 h/vrk * 164 vrk * 100 %) = 3,91 MWh/a

4,20 m^3/s (8 h/vrk * 122 vrk * 100 %) = 1,79 MWh/a

Summa = 5,70 MWh/a

Lämmitysenergiankulutus WISE-järjestelmällä:

TK42-JLP

2,62 m ³ /s (13 h/vrk * 164 vrk * 12 %)	= 0,22 MWh/a
2,33 m ³ /s (13 h/vrk * 164 vrk * 22 %)	= 0,32 MWh/a
2,04 m ³ /s (13 h/vrk * 164 vrk * 45 %)	= 0,55 MWh/a
1,75 m ³ /s (13 h/vrk * 164 vrk * 21 %)	= 0,43 MWh/a
1,75 m ³ /s (8 h/vrk * 122 vrk * 100 %)	= 0,93 MWh/a
<u>Summa</u>	<u>= 2,44 MWh/a</u>
Säästö	= 3,27 MWh/a
Muutos	= - 57 %

5.4 Elinkaarikustannukset

Seuraavassa on laskettu WISE-järjestelmän vaikutukset elinkaarikustannuksiin. Järjestelmän elinkaaren aikaiset kustannukset koostuvat urakointikustannuksista, huoltokustannuksista sekä energiakustannuksista. Järjestelmän elinkaaren pituudeksi valittiin 25 vuotta.

5.4.1 Investointikustannukset

Investointikustannukset arvioitiin pilottiluokkien toteutuneiden kustannuksien perusteella (20). Pilottiluokkien muutokset koskivat vain pientä aluetta, joten työn osuuden oletettiin olevan suuremmalla alueella suhteessa pienempi. WISE-järjestelmän komponenttien kustannusarvio saatiin Swegonilta (21). Vakioilmavirtasäätimien hinta saatiin Haltonin hinnastosta (22).

Luokat (9 kpl)

Swegon WISE huonepaketti + varusteet	= 1 100 €/tila
IV-urakka sis. purku ja asennus: 16 h	= 960 €/tila
Automaatiojärjestelmän muutokset: 4 h	= 320 €/tila
<u>Summa</u>	<u>= 21 420 €</u>

Toimistot + neuvotteluhuoneet (3 kpl)

Laitteet: Vakioilmavirtasäätimet	= 500 €/tila
Työt sis. Purku ja asennus: 4 h	= 240 €/tila
<u>Summa</u>	<u>= 2 220 €</u>

Järjestelmätason kustannukset

Swegon Super WISE järjestelmäkeskus	= 1 250 €
Swegon Super WISE Router	= 200 €
Tarvikkeet	= 5 000 €
Automaatiojärjestelmän muutokset: 100h	= 8 000 €
<u>Summa</u>	<u>= 14 450 €</u>

Kustannukset yhteensä = 38 090 €

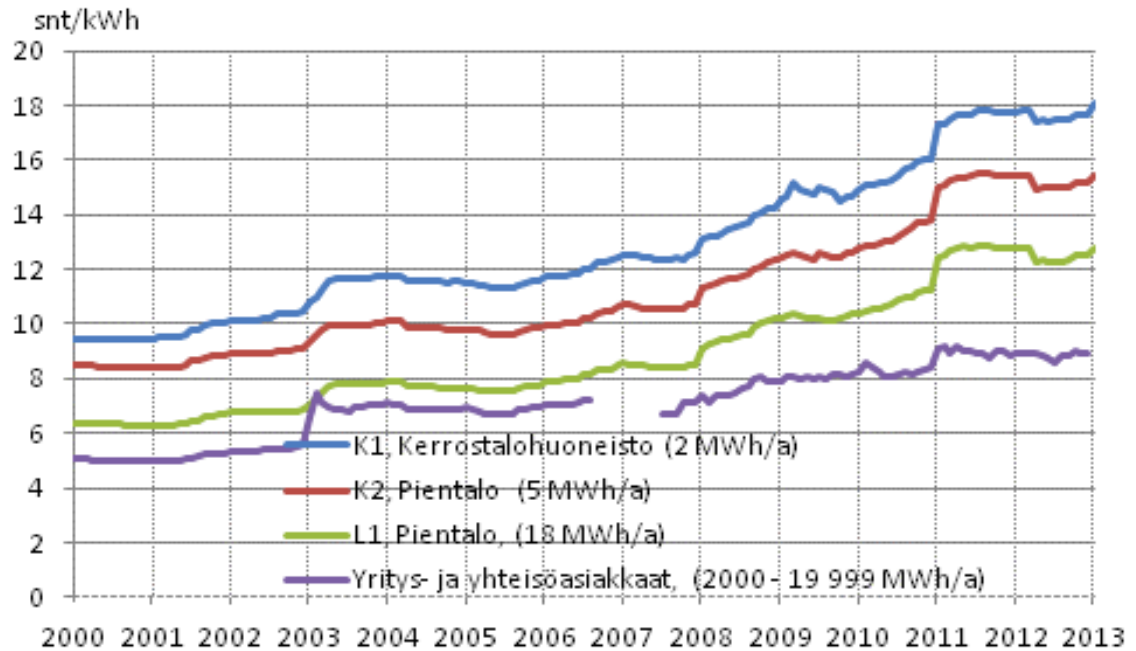
5.4.2 Huoltokustannukset

TK42:n kohdalla huoltokustannusten huomioiminen vaikutti mitättömältä, sillä sen arvioitiin olevan lähellä nykyisen järjestelmän huoltokustannuksia. Ratkaisun monistettavuutta silmällä pitäen huoltokustannukset oli kuitenkin syytä huomioida. Laskennassa arvioitiin WISE-järjestelmän lisäävän vuosittaisia huoltokustannuksia noin 300 €.

5.4.3 Energiasäästöt

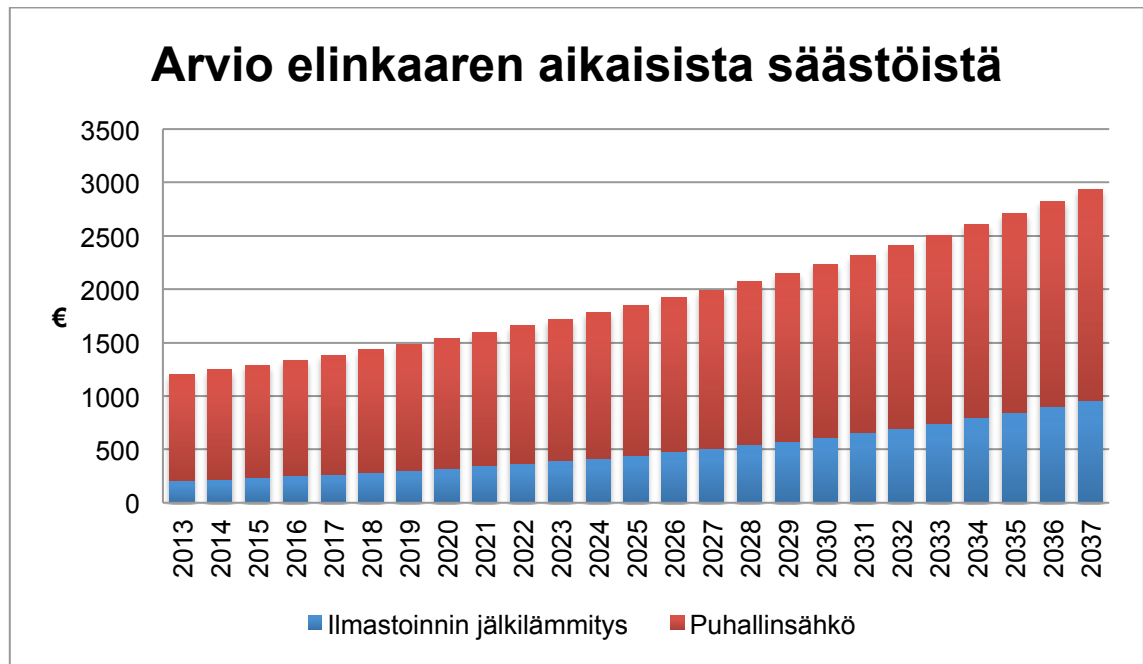
Sähkön hinta saatiin kiinteistön sähköisen huoltokirjan (RYHTI) avulla (23). Laskennassa käytettiin sähköenergian hintaa 53,20 €/MWh vuodelle 2013. Tilastokeskuksen

mukaan sähkön hinta on noussut yritys- ja yhteisöasiakkailla kuvan 12 mukaan kulu-
neen kymmenen vuoden aikana 2,9 % (24). Sähköenergian säästöksi saatiin
24,33 MWh/a.



Kuva 12. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. Tilastokeskus, energian hinnat. (16.)

Kaukolämmön hinta saatiin Energiateollisuus Ry:ltä (25). Laskennassa käytettiin kau-
kolämmölle hintaa 63,49 €/MWh. Vantaan Energia Oy:n energiamaksun hinnan mu-
kaan kaukolämmön hinta on noussut kuuluneen kymmenen vuoden aikana keskimää-
räisesti 6,6 % (26). Kaukolämpöenergian säästöksi saatiin 3,27 MWh/a.

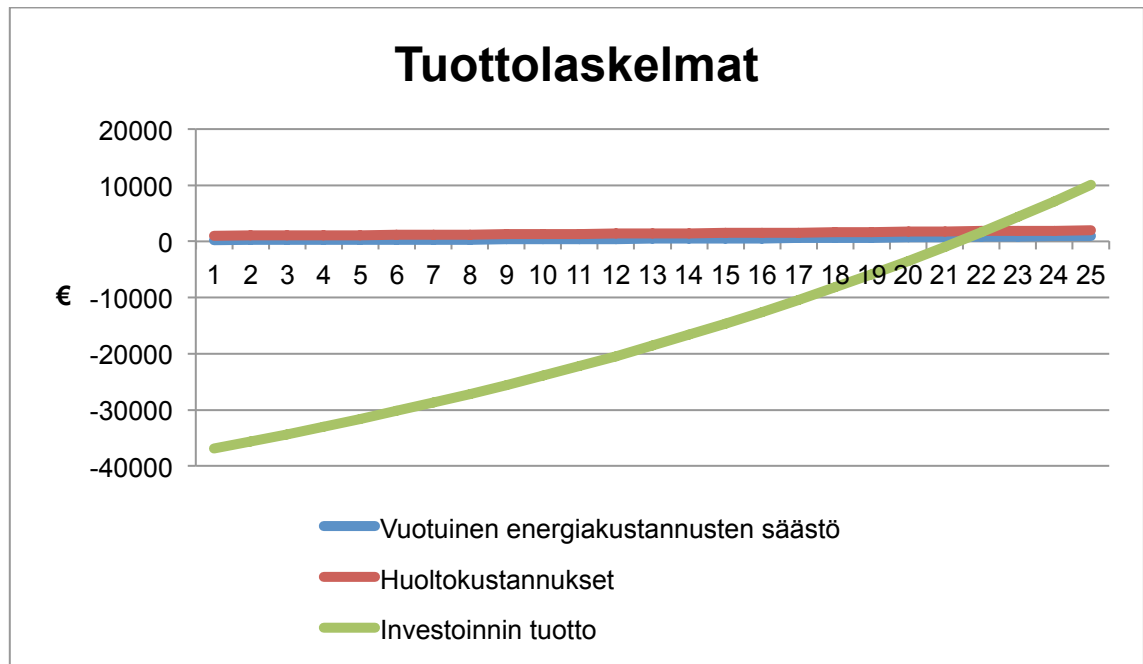


Kuva 13. Arvio WISE-järjestelmällä saavutettavista energiasäästöistä elinkaaren aikana.

Kuvassa 13 on arvioitu WISE-järjestelmällä saavutettavat vuotuiset energiasäästöt seuraavalle kahdeksallekymmenelle vuodelle. Sähkö- ja lämmityskustannusten nousussa käytettiin olettamusta, että hintojen kehitys vastaa kuluneen kymmenen vuoden toteutunutta nousua.

5.5 Takaisinmaksuaika

Järjestelmän takaisinmaksuaika laskettiin investointikustannusten suhteella vuotuisiin kustannuksiin. Investointikustannukset oli laskettu tulevan ensimmäiselle vuodelle. Rahan arvo diskontattiin nykyarvoon. Korkona käytettiin 2,5 %:a vuodessa. Kuvasta 14 selviää tuoton kehitys ajan suhteen. TK42:n kohdalla WISE-järjestelmä maksaa itsensä takaisin arviolta 21:n vuoden käytöllä käyttöasteen pysyessä entisellään ja kustannusten kehittyessä oletetulla tavalla.



Kuva 14. WISE-järjestelmän tuotto ajan funktiona. Investointi on maksanut itsensä takaisin, kun investoinnin tuotto on positiivinen.

6 Luokkien ilmanlaadun parantaminen

Käyttöastelaskelmaa sovellettiin toisen ilmanvaihtokoneen palvelualueen ilmanlaadun parantamiseen. Tavoitteena oli tehostaa suurella kuormituksella olevien luokkien ilmanvaihtoa. Pienellä kuormituksella olevien luokkien ilmanvaihtoa rajoitettiin ja säästetty kapasiteetti siirrettiin suurella kuormituksella oleviin luokkiin. Tarkasteltavaksi tiloiksi valittiin Leppävaaran kampuksen ilmanvaihtokoneen G312 palvelemat luokat.

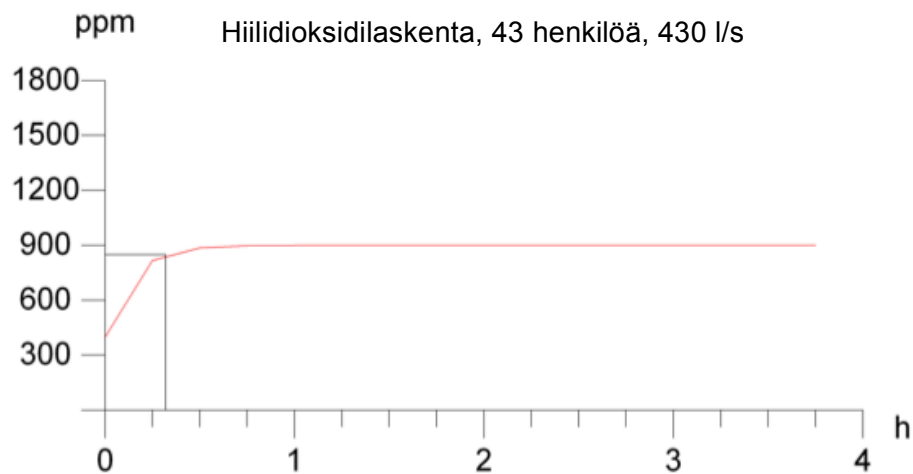
Tarkastelun tavoitteena oli tutkia tarpeenmukaisen ilmanvaihdon mahdollisuuksia ilmanlaadun parantamisessa. Työ rajattiin käsittelemään ainoastaan ilman hiilidioksidipitoisuutta. Rajauksen ulkopuolelle jäi myös kanaviston ja pääte-elinten soveltuvuus muuttuneisiin ilmavirtoihin. Laskelmat suoritettiin Swegonin ProAir Web -sovelluksella (27). Huoneiden ilmanjaon periaate oli sekoittava.

Luokat oli mitoitettu 43 henkilölle. Tulo- ja poistoilmavirroiksi oli mitoitettu 6 l/s henkilöä kohden, jolloin tilan ilmanvaihto oli 258 l/s. Tällä saavutettiin lähes S3-luokan edellyttämä hiilidioksiditaso 1 200 ppm. Kuvasta 15 voidaan lukea, että tilan hiilidioksidipitoisuus nousi jo 34 minuutin aikana arvoon 1 160 ppm.



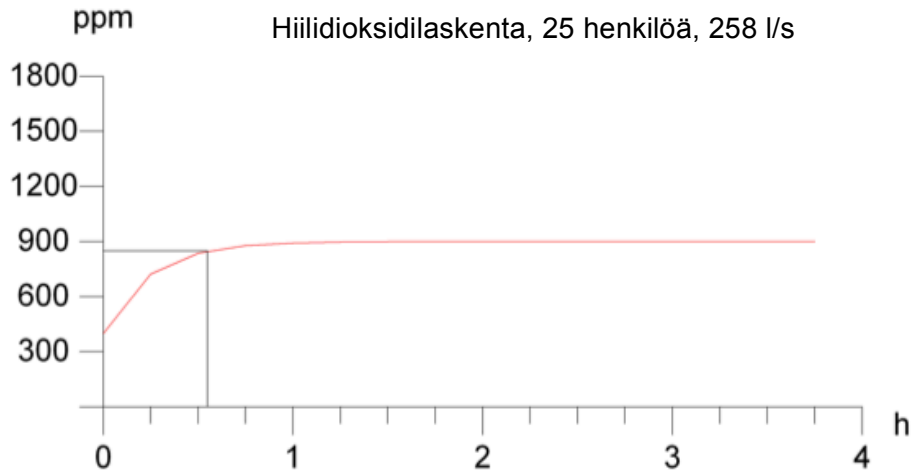
Kuva 15. Swegon ProAir Web -sovelluksella saadut tulokset. Ilmavirtana käytetty mitoitusarvoa 258 l/s. Tilan henkilömääränä käytetty mitoitusarvoa 43 henkilöä. Aika, jolloin 95 % maksimihiilidioksidipitoisuudesta (1 233 ppm) saavutetaan, on 34 minuuttia.

43 henkilöllä S2-luokan edellyttämän hiilidioksiditason 900 ppm saavuttaminen edellytti tilan ilmanvaihdon kasvattamista 430 l/s (kuva 16). Tällöin tilaan tarvittiin lisäilmavirta 172 l/s.



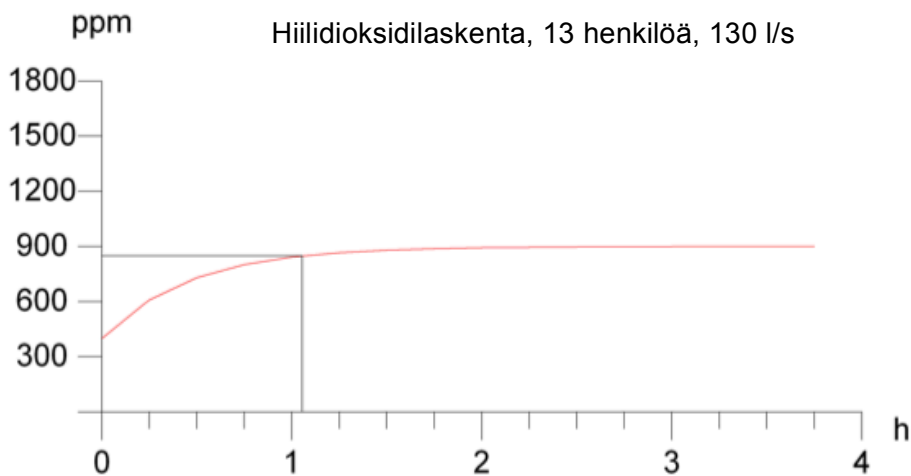
Kuva 16. Swegon ProAir Web -sovelluksella saadut tulokset. Ilmavirtana käytetty uutta arvoa 430 l/s. Tilan henkilömääränä käytetty mitoituksen arvoa 43 henkilöä. Aika, jolloin 95 % maksimihiilidioksidipitoisuudesta (900 ppm) saavutetaan, on 19 minuuttia.

Mitoitusilmavirta sen sijaan mahdollisti S2-luokan edellyttämän hiilidioksiditason saavuttamisen maksimissaan 25 henkilön oleskellessa tilassa (kuva 17).



Kuva 17. Swegon ProAir Web -sovelluksella saadut tulokset. Ilmavirtana käytetty mitoitusarvoa 258 l/s. Tilan henkilömääränä käytetty arvoa 25 henkilöä. Aika, jolloin 95 % maksimihiilidioksidipitoisuudesta (900 ppm) saavutetaan, on 32 minuuttia.

Ainoastaan 13 henkilön oleskellessa tilassa ilmavirraksi riitti 130 l/s (kuva 18). Tällöin saavutettu säästö mitoituslaitanteeseen nähden oli 128 l/s.



Kuva 18. Swegon ProAir Web -sovelluksella saadut tulokset. Ilmavirtana käytetty arvoa 130 l/s. Tilan henkilömääränä käytetty arvoa 13 henkilöä. Aika, jolloin 95 % maksimihiilidioksidipitoisuudesta (900 ppm) saavutetaan, on 63 minuuttia.

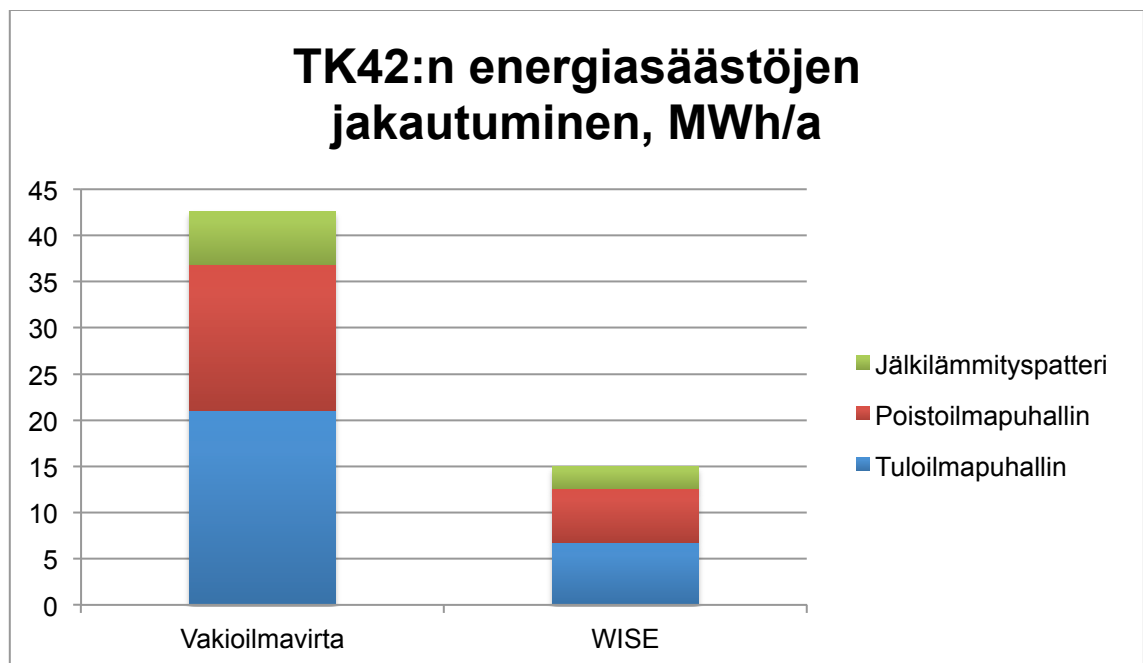
Luvussa 5.1 esitetystä käyttöprofiilin määrittämisestä kävi ilmi tiloissa oleskelevien ihmisten keskimääräisen lukumäärän olevan 25 henkilöä. Edellä olevan tiedon pohjalta voidaan päätellä tiloissa vallitsevan sisäilmaluokituksen S2 toteutuvan keskimääräisesti. Näin ollen tarpeenmukaisella ilmanvaihdollalla on potentiaalia parantaa sisäilmaolosuh-

teita keskiarvoa suuremmalla käytöllä olevissa luokissa. Tarvittava lisäilmamäärä on mahdollista tuottaa, koska osa luokista on keskiarvoa vähäisemmällä käytöllä.

7 Tulokset

Työssä tutkittiin tarpeenmukaisen ilmanvaihdon lisäämisellä saavutettavia säästöjä energian kulutuksessa. Tarkasteltava ilmanvaihtokone oli Metropolian Myyrmäen toimipisteen sijaitseva TK42. Ilmanvaihtokoneen palvelualue koostui suurista luokkatiloista, toimistoista sekä neuvotteluhuoneista. Näin ollen WISE-järjestelmän asentaminen olemassa olevaan järjestelmään vaikutti järkevältä.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon lisäämisellä saavutettiin merkittäviä säästöjä sekä sähköenergian kulutuksessa että ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksessa. Ilmanvaihtokoneen puhaltimien energiankulutusta pystyttiin vähentämään 66 %. Ilmanvaihtokoneen toimittaman tuloilman jälkilämmityspatterin lämmitystarve laski 57 %. Kuvassa 19 on esitetty kulutusten jakautuminen vakioilmavirta ja WISE-järjestelmällä.



Kuva 19. TK42:n vakioilmavirtaisen- sekä WISE-järjestelmän puhaltimien ja jälkilämmityspatterin energiankulutuksen jakautuminen.

Järjestelmän investointikustannukset arvioitiin Smart Campus -hankkeen toteutuneiden kustannusten pohjalta. Investointikustannusten suuruudeksi saatiin noin 40 000 €.

Tilojen käyttöastetutkimusten perusteella luokat olivat mitoitettua vähäisemmällä käytöllä. Luokissa oli keskimäärin 25 opiskelijaa. Lisäksi tilojen ilmavirrat oli mitoitettu ne-liöpohjaisesti S2-luokan vaatimusten mukaan. Luokkien käyttötarkoituksen vuoksi luokkien käyttäjämäärät poikkesivat huomattavasti siitä, kuinka paljon tiloissa olisi voinut olla ihmisiä ilmanvaihdon puolesta.

7.1 Kannattavuus

Takaisinmaksuajan perusteella edellä tarkasteltu investointi ei ollut kannattava. Järjestelmän takaisinmaksuajaksi saatiin 21 vuotta. Laskelmien tarkkuuteen liittyy kuitenkin monia tekijöitä, joiden muutoksen seurauksena kannattavuus voi muuttua.

Tilojen käyttöasteen ja energian hinnan muutoksen seuraukset vaikuttavat merkittävästi saavutettuihin säästöihin. Sisäilman laadun parantamisella voi kuitenkin olla merkittävä vaikutus oppimistuloksiin, jota ei voi suoraan rahassa mitata. Myös ympäristön päästöjen vähentymiselle tulisi antaa oma painoarvonsa tämän kaltaisista hankkeista päätettäessä.

7.2 Sovellukset

Jokainen ilmanvaihtokone ja palvelualue vaatii yksilöllisen tarkastelunsa. Investoinnin kannattavuus ei ole itsestään selvä vaan riippuu monesta tekijästä. Myös järjestelmän soveltuvuus on useamman tekijän tulo. Vähäisellä käytöllä olevilla tiloilla on mahdollisuus säästää paljon suhteessa tilan mitoitettuun ilmamäärään. Säästön kannattavuus edellyttää kuitenkin suuria ilmavirtoja. Tämän vuoksi esimerkiksi toimistohuoneiden kohdalla on mietittävä tarkasti, millaisella käytöllä tila todellisuudessa tulee olemaan. Järjestelmän kannattavuutta laskettaessa on huomioitava myös tilan mahdolliset muutokset vuosien varrella.

7.3 Tulosten tarkastelua

Tilojen käyttöasteen laskennassa käytettiin tilojen toteutuneita varausasteita. Varausasteita tutkittaessa ei kuitenkaan huomioitu tilan käyttäjien määrää, joten määrät piti arvioida kokemukseräisen tiedon pohjalta. Tarkemman lopputuloksen saamista ei kuitenkaan nähty tarpeellisena, sillä tilojen käytön vaihtelu on hyvin suurta riippuen opetusjaksoista ja kurssien toteutuksista.

Ilmanvaihtokoneen energiankulutuksen laskennassa käytettiin mittauksien haasteellisuuden vuoksi mitoitettuja arvoja. Mitoitetut arvot eivät kuitenkaan anna tarkkaa kuvaa ilmanvaihtokoneen nykytilanteesta. Tutkittava ilmanvaihtokone oli ollut käytössä jo yli kymmenen vuotta. Energiatohokkuuden muutoksista ja tilojen muutoksista ei kuitenkaan löytynyt tarkkaa tietoa, joten laskennat jäivät osittain teoriapohjaisiksi. Tarkkuutta pidettiin kuitenkin riittävänä laskennan suorittamiseksi.

Kustannuslaskelmat suoritettiin Smart Campus -hankkeen pilottiluokkien ilmanvaihdon muutosten toteutuneiden kustannusten perusteella. Todelliset kustannukset voivat poiketa laskelmissa esitetyistä summista. Energianhintojen kehityksen muutokset lisäsivät epävarmuutta takaisinmaksuaikoja laskettaessa.

8 Yhteenveto

Suoritetun tutkimuksen mukaan Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen toimipisteen uuden puolen ilmanvaihtokoneen TK42 muuttamisella tarpeenmukaisesti säätyväksi saatiin merkittäviä säästöjä. Muutoksilla laskettiin saavutettavan puhallinenergiankulutuksessa 66 %:n säästö ja ilmanvaihdon jälkilämmityspatterin lämmitysenergiankulutuksessa 57 %:n säästö. Investoinnit laskettiin tuottaviksi 21:n vuoden käytön jälkeen, joten investointia ei nähty takaisinmaksuajan kannalta kannattavaksi.

Metropolia Ammattikorkeakoulun Leppävaaran toimipisteen vanhan puolen ilmanvaihtokoneen G312 palvelemille luokille suoritettiin karkea tarkastelu, jossa arvioitiin tarpeenmukaisen ilmanvaihdon avulla saavutettavia ilmanlaadun parannuksia. Työssä saatujen käyttöastelaskelmia sovellettiin hiilidioksidipitoisuuksien laskelmissa. Laskennan tuloksena todettiin ilmanvaihdon muuttamisella tarpeenmukaiseksi saavutettavan parempi ilmanlaatu tiloihin. Tilojen hiilidioksidipitoisuus oli S3-luokkaa, ja tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla arvioitiin saavutettavan lähes S2-luokan hiilidioksidipitoisuudet.

Työssä kerrottiin luokkakokojen kasvun vaikuttavan tilojen ilmanlaatuun. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voitiin kuitenkin siirtää ilma sinne, missä sitä kulloinkin tarvittiin. Työssä suoritettujen käyttöastelaskelmien perusteella ilmanvaihdon täysi kapasiteetti ei ollut tarkasteltavissa tiloissa milloinkaan käytössä. Laskelmien valossa voitiin todeta olevan mahdollista parantaa ilmanlaatua ja säästää energiaa.

Ilmanvaihtokoneen muuttamisella tarpeenmukaiseksi saavutettiin säästöjä ilmanvaihtokoneen sähkö- ja lämmitysenergian kulutuksissa. Ilmanvaihdon vähentämisen seuraukset oli kuitenkin selvitettävä huolellisesti, jotta sisäilma ei heikentynyt. Lisäksi oli taattava riittävä ilmanvaihto niin, että kiinteistön rakenteet eivät kärsi muutoksista.

Tutkimusta on mahdollista jatkaa useammalle ilmanvaihtokoneelle. Näin saataisiin kokonaisvaltaisempi käsitys säästöpotentiaalin suuruudesta ja investointikustannukset voisivat pienentyä suhteessa yhden koneen muutoksiin. Lisäksi ilmanvaihtokonekohtaista tarkastelua olisi mahdollista syventää tarkastelemaan puhaltimien vaihdosta saatavaa hyötyä.

Lähteet

- 1 Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus. Verkkodokumentti. 4. Vuosineljännes 2012, Liitekuvio 14. Energian loppukäyttö sektoreittain 2012* . Helsinki: Tilastokeskus. <http://www.stat.fi/til/ehk/2012/04/ehk_2012_04_2013-03-22_kuv_014_fi.html> Luettu 17.4.2013.
- 2 Tuloksekas opetuksen teemavuosi. 2012. Verkkodokumentti. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<http://www.metropolia.fi/vuosikertomus/toimintanumeroina/opiskelijat/>> Luettu 10.04.2013.
- 3 Pilotit. 2012. Verkkodokumentti. Smart Campus. <<http://smartcampus.metropolia.fi/pilotit/>> Luettu 17.4.2013
- 4 RYHTI huoltokirja, Metropolia Ammattikorkeakoulu. Granlund Oy.
- 5 Kemialliset epäpuhtaudet. 2008. Verkkodokumentti. Sisäilmastoyhdistys. <http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/kemialliset_epa_puhtaudet/> Luettu 17.4.2013.
- 6 Seppänen, Olli. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjankoski: SOLVER palvelut Oy.
- 7 Asumisterveysohje. 2003. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003. Helsinki: sosiaali- ja terveysministeriö.
- 8 Wargocki P. & Wyon D.P. 2013. Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective. *Building and Environment* 59: 581-589.
- 9 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 10 LVI 05-10440: Sisäilmastoluokitus 2008. 2008. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö.
- 11 Roth K.W., Dieckmann J., Brodrick J. 2003. Demand control ventilation. *ASHRAE Journal* July: 91–92.
- 12 Radon aiheuttaa keuhkosityöpää. 2013. Verkkodokumentti. Säteilyturvakeskus. <http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily/sateilyn_terveysvaikutukset/fi_FI/radonin_terveyshaitta/> Luettu 5.6.2013.

- 13 ADAPT Damper. Oy Swegon Ab. 2013. Kuva.
<http://www.swegon.com/Global/ProductPage/flow_control/adapt_damper.jpg>
Luettu 9.5.2013
- 14 Helsingin kaupungin palvelurakennusten matalaenergiarakentamisohje. 2011.
LVI-suunnitteluohje. Helsingin kaupunki: Rakennusvirasto: HKR-Rakennuttaja.
- 15 Jonninen, Jukka. 2013. Asiantuntija, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki.
Keskustelu 3.5.2013.
- 16 Tilojen varausasteet. 2012. Tilanvarausjärjestelmä, Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 17 Ollikainen, Suvi. 2013. Koordinaattori, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Vantaa.
Keskustelu 2.5.2013.
- 18 Liljaniemi, Antti. 2011. Metropolian Ammattikorkeakoulun Vantaan Myyrmäen
luokkien käyttöastetutkimus.
- 19 Tuoteluettelo: Pyörivä lämmönsiirrin - REGOTERM/TURBOTERM - EURA. 2001.
Fläkt Woods.
- 20 Tarjouspyyntöasiakirjat. 2013. Smart Campus.
- 21 Lindroos, Hannu. 2013. Aluepäällikkö, Oy Swegon Ab, Espoo. Keskustelut
10.5.2013.
- 22 Halton tuotehinnasto. 2013. Verkkodokumentti.
<[www.halton.fi/halton/fi/cms.nsf/files/80515C402365A847C2257B3C0047CDFC/\\$file/halton_hinnasto_FIN_01042013.pdf](http://www.halton.fi/halton/fi/cms.nsf/files/80515C402365A847C2257B3C0047CDFC/$file/halton_hinnasto_FIN_01042013.pdf)> Luettu 2.5.2013
- 23 RYHTI huoltokirja. Dokumentit. Projektin aikana oli saatavissa
www.ryhti.fi/ryhtiweb/metropolia. Nykyään saatavissa
<<http://www.ryhti.net/sisaankirjautuminen/>> Luettu 15.4.2013.
- 24 Tilasto: Energian hinnat. Verkkojulkaisu. 4. Vuosineljännes 2012, Liitekuvio 5.
Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. Tilastokeskus
<http://www.stat.fi/til/ehi/2012/04/ehi_2012_04_2013-03-20_kuv_005_fi.html>
Luettu 11.5.2013.
- 25 Kaukolämmön hinnat 1.1.2013. Energiateollisuus Ry. Verkkodokumentti.
<http://energia.fi/sites/default/files/hinta_010113.xls> Päivätty 27.2.2013. Luettu
11.5.2013.

- 26 Diaesitys kaukolämmön hinnan kehityksestä. Energiateollisuus Ry. Verkkodokumentti. <http://energia.fi/sites/default/files/liite2_kl-hinta_010113_0.ppt> Päiväty 22.03.2013. Luettu 11.5.2013.
- 27 ProAir Web -sovellus. Verkkosovellus. Oy Swegon Ab
<<http://www.swegon.com/fi/Tukimateriaali/Mitoitusohjelmat/ProAir-Web/>> Luettu 11.5.2013.

TK42:n palvelualueen luokkien päiväkohtaiset varaukset (18, muokattu).

	B249	B324	B330	B331	B332	B340	B344	B348	B349	Summa
Maanantai	210	16	257	277	181	217	177	286	170	1791
Tiistai	261	16	300	332	302	262	141	303	221	2138
Keskiviikko	280	18	244	306	283	174	138	253	327	2022
Torstai	227	16	268	311	263	190	203	310	213	2001
Perjantai	50	16	97	144	83	190	90	95	138	903
Lauantai			13	12				25	16	66
Summa	1028	82	1179	1382	1111	1032	749	1273	1085	8921

TK42:n palvelualueen luokkien kuukausikohtaiset varaukset (18, muokattu).

	B249	B324	B330	B331	B332	B340	B344	B348	B349	Summa
Tammikuu	100		89	99	86	97	69	96	88	722
Helmikuu	111	2	106	133	110	90	60	114	95	821
Maaliskuu	117		128	143	117	80	45	108	101	839
Huhtikuu	72		100	134	116	78	37	66	45	648
Toukokuu	28		47	83	37	24	16	52	21	307
Kesäkuu					6		6	7		19
Heinäkuu	80	80	80	80	80	80	80	80	80	720
Elokuu	28		36	51	23	37	25	66	33	298
Syyskuu	112		124	141	130	165	99	172	162	1104
Lokakuu	115		153	191	165	135	99	188	145	1191
Marraskuu	168		196	201	156	142	135	210	197	1404
Joulukuu	97		121	127	87	104	80	115	118	849
Summa	1028	82	1179	1382	1111	1032	749	1273	1085	8921

TK42:n palvelualueen luokkien vuoden varaukset (18, muokattu).

	B249	B324	B330	B331	B332	B340	B344	B348	B349	Summa
9.1.2012						4				4
10.1.2012	6		5	3	2	3		7	4	29
11.1.2012	6		7	7	3	3	2	2	6	34
12.1.2012	2		2		4	4	6	6	4	26
13.1.2012			2	4	4	4		2	3	18
14.1.2012									6	6
16.1.2012	8		9	6	3	9	6	9	7	55
17.1.2012	10		7	8	5	8	2	7	8	55
18.1.2012	11		6	6	9	6	3	11	6	58
19.1.2012	6		4	11	2	7	9	2	4	44
20.1.2012			2	3	4	4	7	2	4	25
23.1.2012	8		9	6	7	9	3	6	2	48
24.1.2012	10		7	10	10	10	6	7	7	66
25.1.2012	12		6	6	9	3	9	8	11	64
26.1.2012	6		6	11	7	3	9	6	6	53
27.1.2012			2	3	4	4		2	4	18
28.1.2012								6		6
30.1.2012	9		9	6	4	9	3	8	2	48
31.1.2012	8		10	9	12	8	6	8	7	68
1.2.2012	8	2	6	6	6	6	4	7	9	53
2.2.2012	8		9	12	7	3	9	8	4	60
3.2.2012			2	3	4	4		2	4	18
4.2.2012				6				6		12
6.2.2012	6		7	9	4	9	3	6	2	44
7.2.2012	9		7	8	12	8	7	9	7	66
8.2.2012	10		7	9	12	3	2	9	9	61
9.2.2012	6		7	11	11	3	3	6	8	54
10.2.2012			2	3	4	4		2	4	18
11.2.2012								6		6
13.2.2012	9		9	9	4	9	3	6	2	50
14.2.2012	11		14	8	8	8	9	7	8	73
15.2.2012	11		6	6	9	6	2	9	9	58
16.2.2012	9		9	11	7	3	9	10	11	69
17.2.2012	1		3	3	4	4		2	4	20
20.2.2012			3	3						6
22.2.2012					3					3
23.2.2012				3						3
24.2.2012			2							2
27.2.2012	6		6	8		9	3	6	2	38
28.2.2012	8		7	8	8	8	5	7	7	57

[illegible]

30.4.2012	2			6		2	3	2	2	16
1.5.2012	3		6	12	7	5	2		3	36
2.5.2012	5		3	3	9	7		5	4	33
3.5.2012	7		8	9	7	3		11	4	48
4.5.2012							3	4		7
7.5.2012	2		3	12		2		2	5	25
8.5.2012	5		2	13	4	2	2	3		30
9.5.2012	4			9		7	2	2	4	27
10.5.2012	2		4	9	11			10	2	38
11.5.2012	2									2
14.5.2012				2						2
15.5.2012			4	6						10
17.5.2012								2		2
21.5.2012				3				4		7
22.5.2012			6							6
23.5.2012			3	3						6
24.5.2012			2				4	6		11
28.5.2012			2	3				4		9
29.5.2012			2							2
30.5.2012			3							3
31.5.2012							4	2		6
7.6.2012							4	2		6
8.6.2012							2			2
11.6.2012					6					6
14.6.2012								2		2
21.6.2012								2		2
28.6.2012								2		2
2.7.2012										0
3.7.2012										0
4.7.2012										0
5.7.2012										0
6.7.2012										0
9.7.2012										0
10.7.2012										0
11.7.2012										0
12.7.2012										0
13.7.2012										0
13.8.2012			3	4						7
15.8.2012				11						11
20.8.2012				4				4		8
21.8.2012								3		3
22.8.2012	3		4	3	3	4	4	7	4	30
23.8.2012	2		5	2	2	2	2	4	2	19
24.8.2012	2		2	4	2	2	2	2	2	16
27.8.2012	2		5	3	4	4	7	13	4	40

28.8.2012	5		5	6	6	4	2	11	4	42
29.8.2012	6		9	6	6	6	5	5	6	46
30.8.2012	5		1	7		2		10	6	31
31.8.2012	4		3	2	2	15	5	8	8	46
3.9.2012	7		5	6	4	6	10	9	7	52
4.9.2012	7		9	7	9	9	5	13	4	63
5.9.2012	6		4	8	7	3	3	8	19	58
6.9.2012	5		8	7	6	4	6	10	6	51
7.9.2012	4		3	6	2	15	3		8	39
10.9.2012	6		7	6	4	6	7	9	4	47
11.9.2012	9		8	7	15	9	5	12	4	69
12.9.2012	6		4	8	7	6	3	7	16	56
13.9.2012	5		8	7	9	6	6	12	8	61
14.9.2012	4		3	6	2	15	3		8	39
17.9.2012	3		7	8	4	6	9	9	4	49
18.9.2012	9		11	7	12	9	5	16	7	75
19.9.2012	6		4	8	7	6	3	10	16	59
20.9.2012	5		8	5	6	8	6	12	6	54
21.9.2012	4		3	6	2	15	3		8	39
24.9.2012	3		5	6	10	6	7	9	4	48
25.9.2012	9		11	7	12	9	5	12	6	70
26.9.2012	6		7	13	7	6	6	10	16	70
27.9.2012	5		8	9	6	6	8	12	11	65
28.9.2012	4		3	6	3	15	3	3	8	43
1.10.2012	3		7	11	4	4	7	9	4	46
2.10.2012	9		13	11	9	9	5	16	4	75
3.10.2012	6		7	12	10	6	3	10	16	69
4.10.2012	5		11	5	11	8	6	12	4	60
5.10.2012	4		3	6	2	15	3		8	39
8.10.2012	3		5	8	6	4	7	9	4	44
9.10.2012	9		14	10	9	9	7	16	4	78
10.10.2012	6		10	8	10	6	3	9	16	67
11.10.2012	5		11	7	6	8	6	14	8	64
12.10.2012	4		3	6	2	15	3	1	8	40
15.10.2012	3		5	8	7	4	12	11	6	54
16.10.2012	7		16	7	13	9	5	16	6	78
17.10.2012	6		4	12	11	3	3	15	16	70
18.10.2012	10		8	8	6	4	6	6	4	51
19.10.2012	4		6	6	2	15	3	3	8	45
22.10.2012			3	7	7			6		23
23.10.2012				7	7				2	16
24.10.2012				7	10		3			20
25.10.2012				7	7			3		17
26.10.2012				7	7					14
29.10.2012	11		9	10	7	8	10	14	11	80

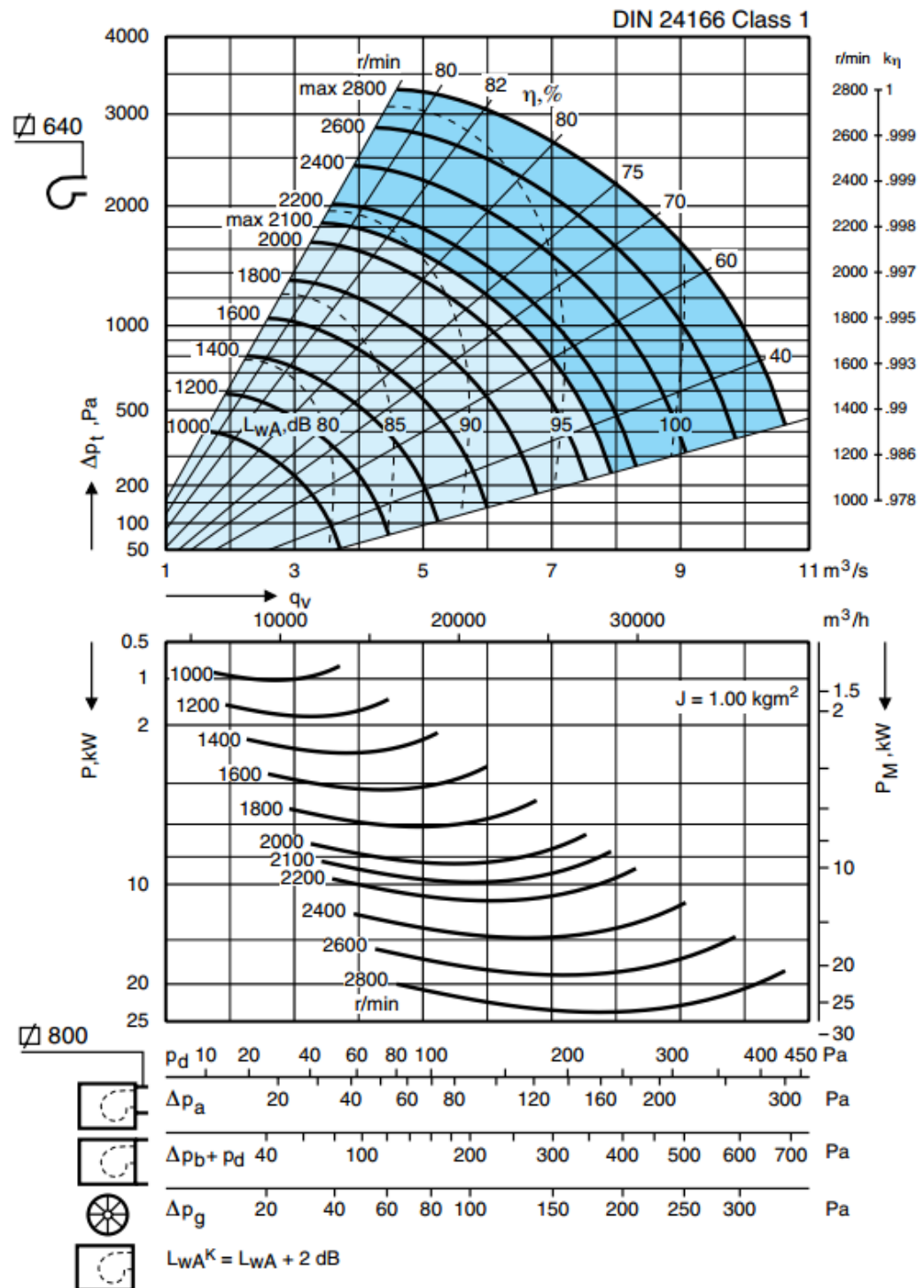
30.10.2012	9		8	8	6	7	6	13	12	69
31.10.2012	11		13	12	10	5	7	7	10	74
1.11.2012	9		11	8	8	8	9	10	8	72
2.11.2012			2	6		3	3	5	6	23
5.11.2012	11		9	11	9	10	10	14	11	84
6.11.2012	9		9	8	9	7	4	13	12	72
7.11.2012	11		11	14	7	5	7	8	12	74
8.11.2012	8		11	11	9	8	9	10	8	74
9.11.2012			3	6		3	3	5	6	24
12.11.2012	11		9	10	15	10	6	14	11	86
13.11.2012	9		7	8	9	7	8	13	12	74
14.11.2012	13		13	12	7	5	7	8	10	74
15.11.2012	7		8	5	9	8	9	15	8	70
16.11.2012				6	3	3	3	5	6	24
19.11.2012	11		9	10	9	10	7	14	11	80
20.11.2012	10		13	8	8	9	4	10	10	72
21.11.2012	13		8	12	7	5	7	7	7	65
22.11.2012	5		11	11	9	8	9	10	8	71
23.11.2012				6	3	3	3	5	6	24
24.11.2012			7							7
26.11.2012	11		12	10	13	10	6	13	13	86
27.11.2012	9		11	10	9	7	4	10	11	70
28.11.2012	11		14	12	8	5	7	9	7	72
29.11.2012	7		11	12	9	8	15	9	12	83
30.11.2012	2		6	6		3	3	5	2	25
3.12.2012	11		16	7	9	10	6	13	11	81
4.12.2012	9		9	17	9	7	4	7	8	70
5.12.2012	14		8	15	5	5	7	8	10	71
6.12.2012	4		8	5	9	7	5	4	8	50
7.12.2012				6		3	3	5	2	17
10.12.2012	11		14	7	9	10	6	15	11	82
11.12.2012	7		10	6	6	7	9	11	8	64
12.12.2012	7		10	12	5	5	7	8	10	63
13.12.2012	4		13	11	9	12	10	6	8	74
14.12.2012			3	6		3	3	5	2	20
17.12.2012	15		9	7	9	14	6	13	11	82
18.12.2012	5		5	6	6	7	4	7	8	47
19.12.2012	7		8	12	5	5	7	8	10	61
20.12.2012	4		8	5	9	8	5	4	8	51
21.12.2012				6		3	3	5	2	17
Summa	1028	82	1179	1382	1111	1032	749	1273	1085	8921

Käyttöastelaskelmat

Käyttöaikaseurannan tulokset ja niiden pohjalta lasketut käyttöasteet.

20.29.00										Tilojen varauksen painotus										Ylimääräisiä tilastilijakaa										Koonti
Tilojen varaus päiväkäytössä					Tilan mitoitus (8					Keskimääräinen ryhmän koko (hio)					Ryhmän suhde tilan mitoitukseen					Käyttöaika Tilojen päivä (h)					Tilojen varauksen painotus ryhmien koon keskiarvolla					
Ma	Ti	Ke	To	Pe	Summa V_iltapäivä	(l/s)	(hio)	R_mitoitus	R_iltapäivä	R_mitoitus R_iltapäivä	R_iltapäivä/R_mitoitus	t_iltapäivä	n	Ma	Ti	Ke	To	Pe	Summa		Ma	Ti	Ke	To	Pe	Summa				
B249ATKp	0%	0%	11%	22%	0%	7%	320	40	25.00	63%	63%	9	1	0%	0%	7%	14%	0%	4%	41.67%		0%	0%	7%	14%	0%	4%	41.67%		
B324ATKp	33%	56%	89%	89%	67%	67%	320	40	25.00	63%	63%	9	1	21%	35%	56%	56%	42%	42%	41.67%		21%	35%	56%	56%	42%	42%	41.67%		
B330ATKp	33%	89%	44%	100%	56%	64%	320	40	25.00	63%	63%	9	1	21%	56%	28%	63%	35%	40%	40.28%		21%	56%	28%	63%	35%	40%	40.28%		
B331ATKp	44%	89%	44%	56%	22%	51%	320	40	25.00	63%	63%	9	1	28%	56%	28%	35%	14%	32%	31.94%		28%	56%	28%	35%	14%	32%	31.94%		
B332ATKp	44%	67%	78%	78%	22%	58%	320	40	25.00	63%	63%	9	1	28%	42%	49%	49%	14%	36%	36.11%		28%	42%	49%	49%	14%	36%	36.11%		
B333ATKp	56%	56%	44%	89%	78%	64%	320	40	25.00	63%	63%	9	1	35%	35%	28%	56%	40%	40.28%	40.28%		35%	35%	28%	56%	40%	40.28%	40.28%		
B340ATKp	33%	44%	22%	56%	44%	40%	320	40	25.00	63%	63%	9	1	21%	28%	14%	35%	28%	25%	25.00%		21%	28%	14%	35%	28%	25%	25.00%		
B348ATKp	0%	33%	22%	67%	78%	40%	320	40	25.00	63%	63%	9	1	0%	21%	14%	42%	49%	25%	25.00%		0%	21%	14%	42%	49%	25%	25.00%		
B349ATKp	22%	22%	44%	67%	22%	36%	320	40	25.00	63%	63%	9	1	14%	14%	28%	42%	14%	22%	22.22%		14%	14%	28%	42%	14%	22%	22.22%		
Päivä	30%	51%	44%	69%	43%	47%	2880	360	25.00	63%	63%	9	9	19%	32%	28%	43%	27%	30%	29.63%		19%	32%	28%	43%	27%	30%	29.63%		
Tilojen varaus iltakäytössä										Tilojen varauksen painotus										Tilojen varauksen painotus ryhmien koon keskiarvolla										
Ma	Ti	Ke	To	Pe	Summa V_iltaita	(l/s)	(hio)	R_mitoitus	R_iltaita	R_mitoitus R_iltaita	R_iltaita/R_mitoitus	t_iltaita	n	Ma	Ti	Ke	To	Pe	Summa		Ma	Ti	Ke	To	Pe	Summa				
B249ATKi	0%	0%	0%	0%	0%	0%	320	40	25.00	63%	63%	4	1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0.00%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0.00%		
B324ATKi	0%	100%	50%	0%	0%	30%	320	40	25.00	63%	63%	4	1	0%	63%	31%	0%	0%	19%	18.75%		0%	63%	31%	0%	0%	19%	18.75%		
B330ATKi	0%	100%	100%	0%	0%	40%	320	40	25.00	63%	63%	4	1	0%	63%	63%	0%	0%	25%	25.00%		0%	63%	63%	0%	0%	25%	25.00%		
B331ATKi	0%	100%	100%	100%	0%	60%	320	40	25.00	63%	63%	4	1	0%	63%	63%	0%	0%	38%	37.50%		0%	63%	63%	0%	0%	38%	37.50%		
B332ATKi	0%	100%	0%	100%	0%	40%	320	40	25.00	63%	63%	4	1	0%	63%	0%	63%	0%	25%	25.00%		0%	63%	0%	63%	0%	25%	25.00%		
B340ATKi	100%	100%	100%	100%	0%	80%	320	40	25.00	63%	63%	4	1	63%	63%	63%	0%	0%	50%	50.00%		63%	63%	63%	0%	0%	50%	50.00%		
B344ATKi	0%	0%	100%	0%	0%	20%	320	40	25.00	63%	63%	4	1	0%	0%	63%	0%	0%	13%	12.50%		0%	0%	63%	0%	0%	13%	12.50%		
B348ATKi	0%	25%	100%	0%	0%	25%	320	40	25.00	63%	63%	4	1	0%	16%	63%	0%	0%	16%	15.63%		0%	16%	63%	0%	0%	16%	15.63%		
B349ATKi	25%	25%	0%	25%	0%	15%	320	40	25.00	63%	63%	4	1	16%	16%	0%	16%	0%	9%	9.38%		16%	16%	0%	16%	0%	9%	9.38%		
Ilta	14%	61%	61%	36%	0%	34%	2880	360	25.00	63%	63%	4	9	9%	38%	38%	23%	0%	22%	21.53%		9%	38%	38%	23%	0%	22%	21.53%		
Summa					Summa					Summa					Summa					Summa					Summa					
n					n					n					n					n					n					
g					g					g					g					g					g					
13 h					13 h					13 h					13 h					13 h					13 h					
K t					K t					K t					K t					K t					K t					
27.14%					27.14%					27.14%					27.14%					27.14%					27.14%					

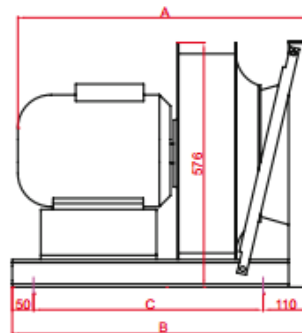
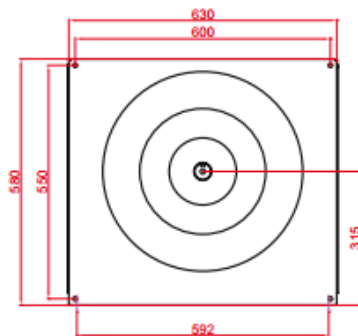
Puhallinkäyrästö

EUL(B,F) – Puhallinkäyrästöt**EULB-32-3/33-2/40-3/41-2/42-1/50-1**

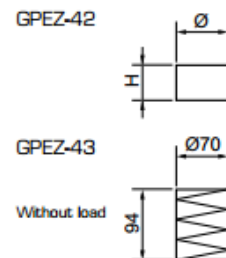
Moottoritiedot

Centriflow Plus 3000

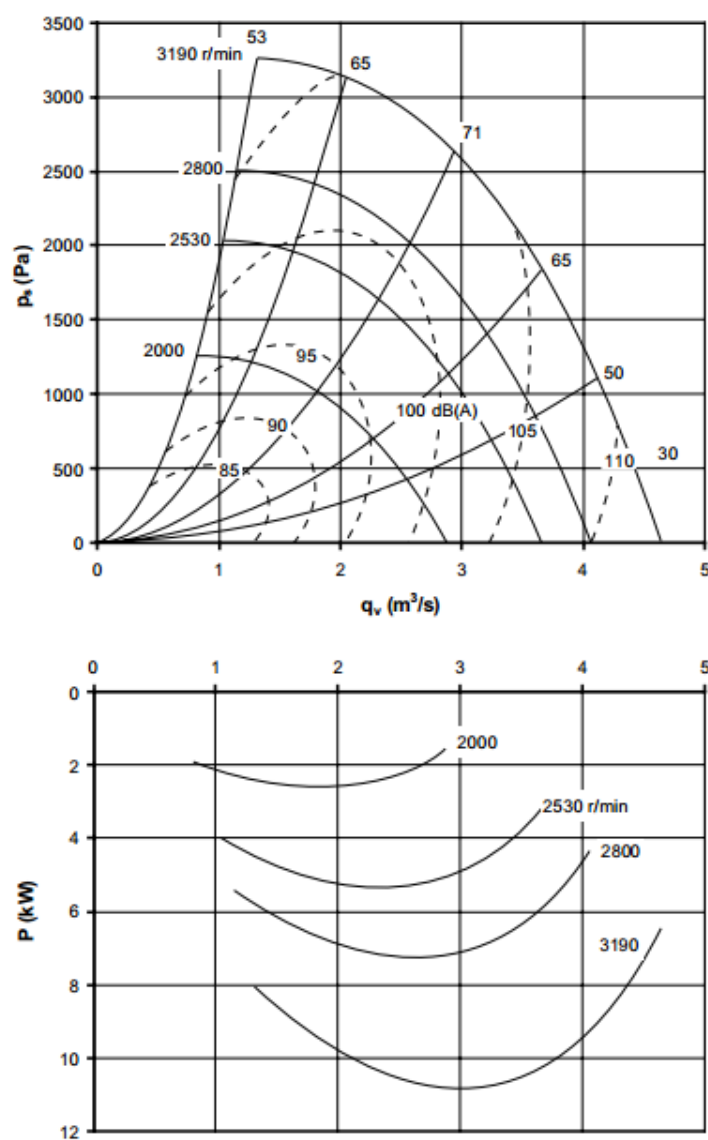
Technical Data - GPEB-1-01-045-



IEC	A	B	C	GPEZ-42		GPEZ-43	
				ϕ	H	Front	Back
132	687	700	540	50	48	SD4	SD4
160	794	850	690	50	48	SD4	SD4

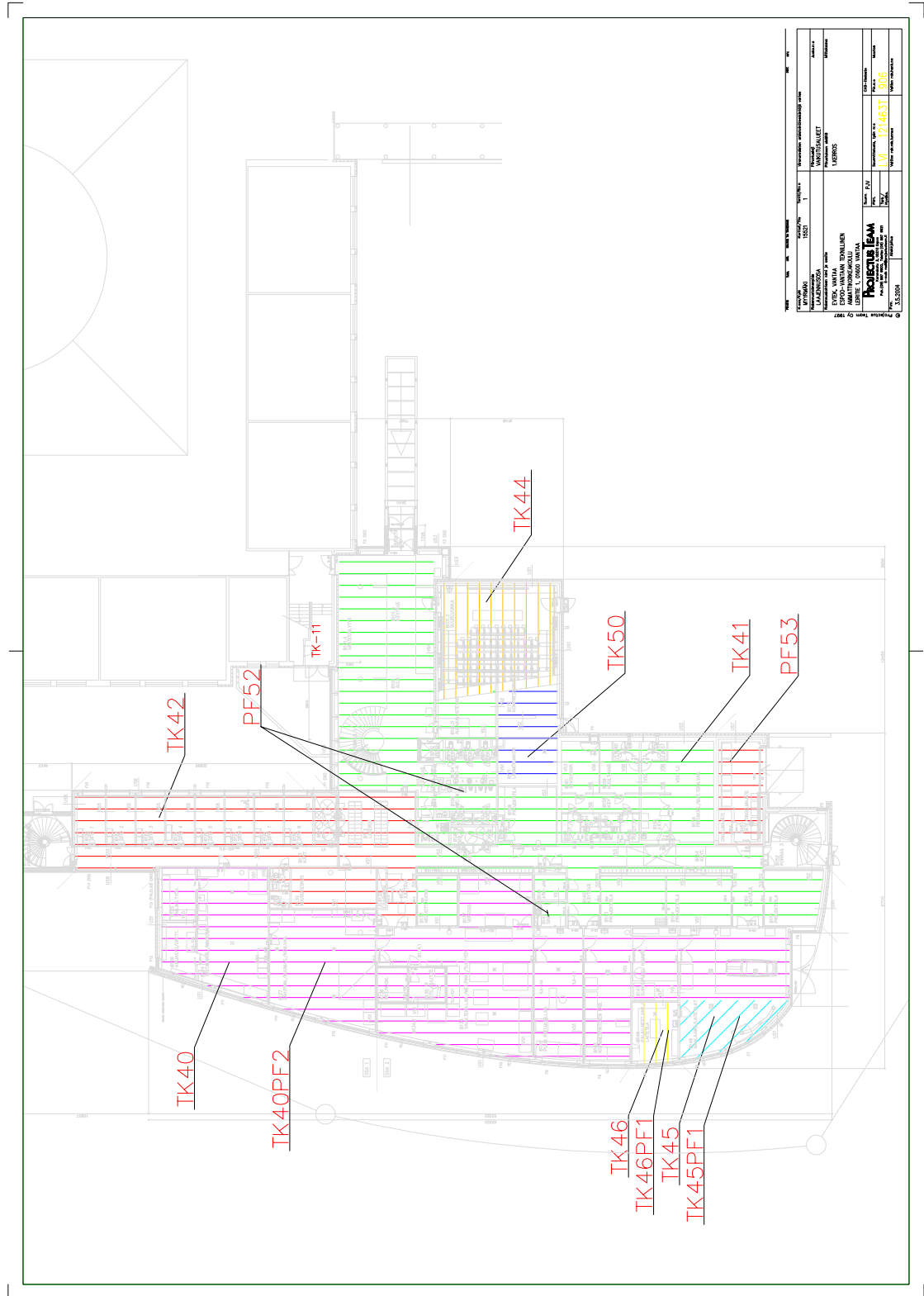


Motor data								Antivibration mountings			
						Max speed/ frequency		GPEZ-42-01- 045-d-0	GPEZ-43-01- 045-d-0	Fan Weight kg	Total Weight kg
	Output kW	Motor IEC	Motor	Motor nominal rpm	Motor Weight kg	Max r/min	Max Hz				
Flakt Woods motors IE2, 400V 50Hz											
GPEB-1-01-045-13-0	5,5	132M	APAL-4-00550-2-2-7	1465	48	2544	86,8	d = 1	d = 1	62	110
GPEB-1-01-045-13-0	7,5	132MA	APAL-4-00750-2-2-7	1460	59	2628	90,0	d = 1	d = 1	62	121
GPEB-1-01-045-13-0	7,5	132SC	APAL-2-00750-2-2-7	2910	56	2706	46,5	d = 1	d = 1	62	118
GPEB-1-01-045-16-0	11	160MLA	APAL-2-01100-2-2-7	2929	91	3190	54,5	d = 1	d = 1	66	157
ABB motors IE2, 400V 50Hz											
GPEB-1-01-045-13-0	5,5	132	APAL-4-00550-2-2-1	1465	48	2544	86,8	d = 1	d = 1	62	110
GPEB-1-01-045-13-0	7,5	132	APAL-4-00750-2-2-1	1460	59	2628	90,0	d = 1	d = 1	62	121
GPEB-1-01-045-13-0	7,5	132	APAL-2-00750-2-2-1	2915	56	2706	46,4	d = 1	d = 1	62	118
GPEB-1-01-045-16-0	11	160	APAL-2-01100-2-2-1	2938	91	3190	54,3	d = 1	d = 1	66	157
Marine motors, 380V 50Hz											
GPEB-1-01-045-13-0	5,5	132	APAM-4-00550-2-d-1	1465	48	2544	86,8	d = 1	d = 1	62	110
GPEB-1-01-045-13-0	7,5	132	APAM-4-00750-2-d-1	1460	59	2628	90,0	d = 1	d = 1	62	121
GPEB-1-01-045-13-0	7,5	132	APAM-2-00750-2-d-1	2890	56	2731	47,2	d = 1	d = 1	62	118
GPEB-1-01-045-16-0	11	160	APAM-2-01100-2-d-1	2928	91	3190	54,5	d = 1	d = 1	66	157
Marine motors, 440V 60Hz											
GPEB-1-01-045-13-0	6,4	132	APAM-4-00640-7-d-1	1749	48	2676	91,8	d = 1	d = 1	62	110
GPEB-1-01-045-13-0	8,6	132	APAM-2-00860-2-d-1	3500	56	1417	24,3	d = 1	d = 1	62	118
GPEB-1-01-045-13-0	8,6	132	APAM-2-00860-7-d-1	1750	56	2625	90,0	d = 1	d = 1	62	118
GPEB-1-01-045-16-0	15	160	APAM-2-01500-7-d-1	3499	91	3190	54,7	d = 1	d = 1	66	157

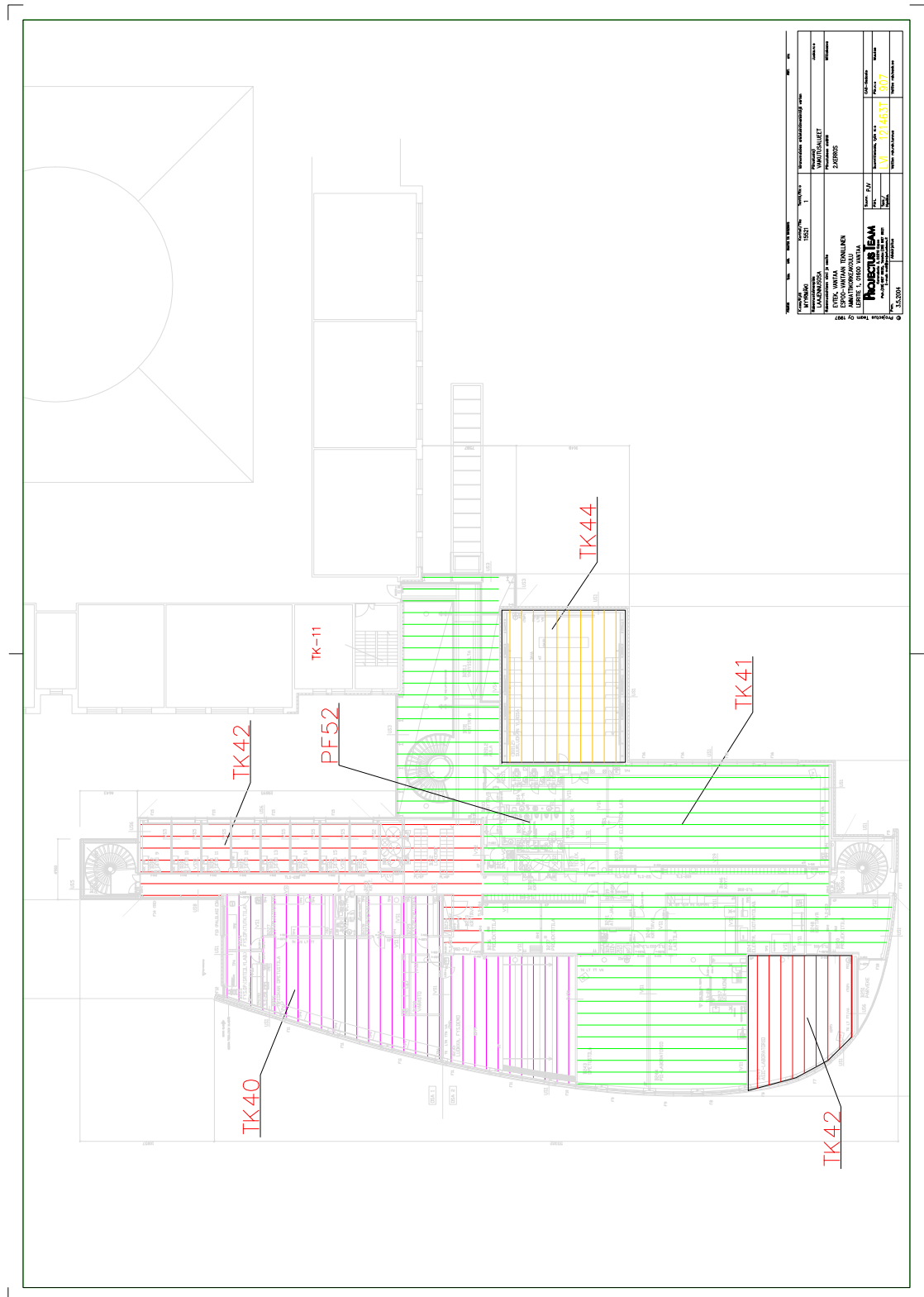
Centriflow ^{Plus 3000}**Technical Data - GPEB-1-01-045-****Fan charts****Sound data**Correction K_{okt} , dB

GPEB-1-01-045	Sound path (s)	Speed range r/min	Octave band, centre frequency, Hz								ΔL
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	To outlet s=1	0 - 3042	-14	-11	-2	-4	-3	-10	-13	-20	0
		3043 - 3190	-10	-11	-7	-2	-3	-11	-13	-21	0
	To inlet s=2	0 - 3042	-17	-16	-2	-9	-13	-15	-18	-22	-5,9
		3043 - 3190	-12	-13	-10	-5	-14	-15	-20	-24	-5,7

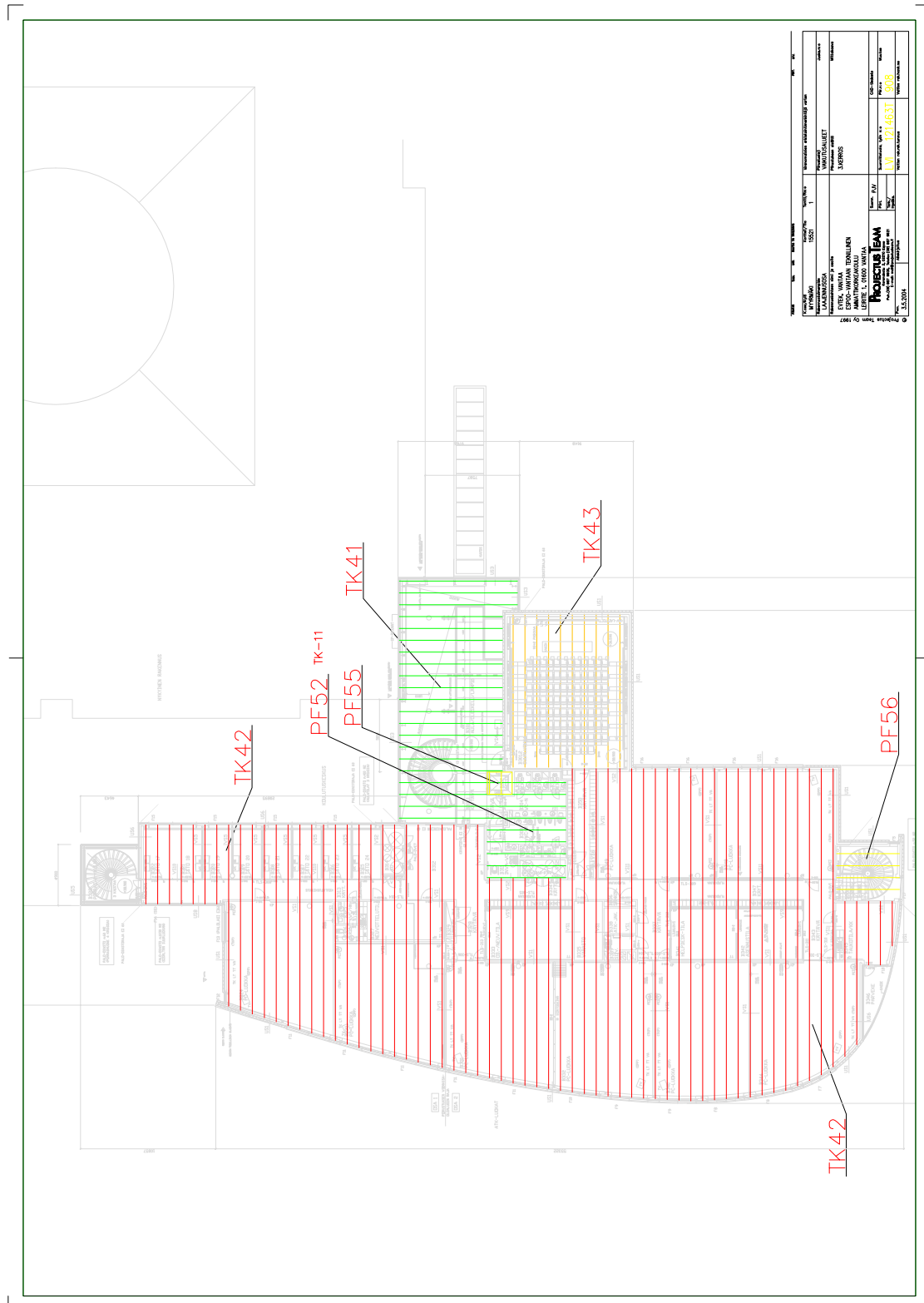
TK42:n palvelualuekuva, 1. kerros



TK42:n palvelualuekuva, 2. kerros



TK42:n palvelualuekuva, 3. kerros



Energiankulutuslaskelmat

	Ilmavirta qv (m3/s)	Paine-ero deltaP (Pa)	Hyötysuhde			Teho P (kW)	Osuus (%)	Käyttöaika, normaali td (h/vrk)	tv (vrk)	Käyttöaika, poikkeus td (h/vrk)	tv (vrk)	Energia normaali/poikkeus Wn (kWh/a) Wp (kWh/a)	
			η _p	η _m	η _h	η _t							
Tulo													
uusi	1.75	500	77%	79%	91%	96%	1.66	21%	13	164	8	742	1,618
-li-	2.04	600	77%	81%	92%	96%	2.23	45%	13	164		2,143	
-li-	2.33	700	77%	83%	92%	96%	2.89	22%	13	164		1,355	
-li-	2.62	800	77%	85%	93%	96%	3.57	12%	13	164		912	
vanha	4.2	915	71%	88%	94%	96%	6.76	100%	13	164	8	14,409	6,596
Poisto													
uusi	1.65	500	78%	80%	91%	96%	1.52	21%	13	164	8	681	1,484
-li-	1.94	550	78%	82%	92%	96%	1.90	45%	13	164		1,822	
-li-	2.23	600	78%	84%	92%	96%	2.31	22%	13	164		1,085	
-li-	2.52	700	81%	86%	93%	96%	2.83	12%	13	164		724	
vanha	4.1	775	79%	87%	94%	96%	5.11	100%	13	164	8	10,899	4,990

Vanha kulutus:

Uusi kulutus:

Säästö:

Muutos:

36,895 kWh/a

12,567 kWh/a

24,328 kWh/a

-66 %

	ρ (kg/m ³)	C _p (Ws/kgK)	Ilmavirta qv (m ³ /s)	Käyttöaika, td (h/vrk)	normaali tv (vrk)	Osuus %	Käyttöaika dt (h)	Käyttöaika, td (h/vrk)	Käyttöaika, tv (vrk)	Korjaus- kerroin (r)	Lämpötila T _{tu} T _s	Tulo/poistoi. suhde (R)	LTO n_a n_t,a	Q _n kWh/a	Q _p kWh/a
uusi	1.20	1.000	1.75	13	164	21%	448	8	122	0.92	17 5	94%	68%	428	933
-II-	1.20	1.000	2.04	13	164	45%	959			0.92	17 5	95%	70%	554	
-II-	1.20	1.000	2.33	13	164	22%	469			0.92	17 5	96%	70%	319	
-II-	1.20	1.000	2.62	13	164	12%	256			0.92	17 5	96%	71%	202	
vanha	1.20	1.000	4.20	13	164	100%	2.132	8	122	0.92	17 5	98%	71%	3.912	1.791

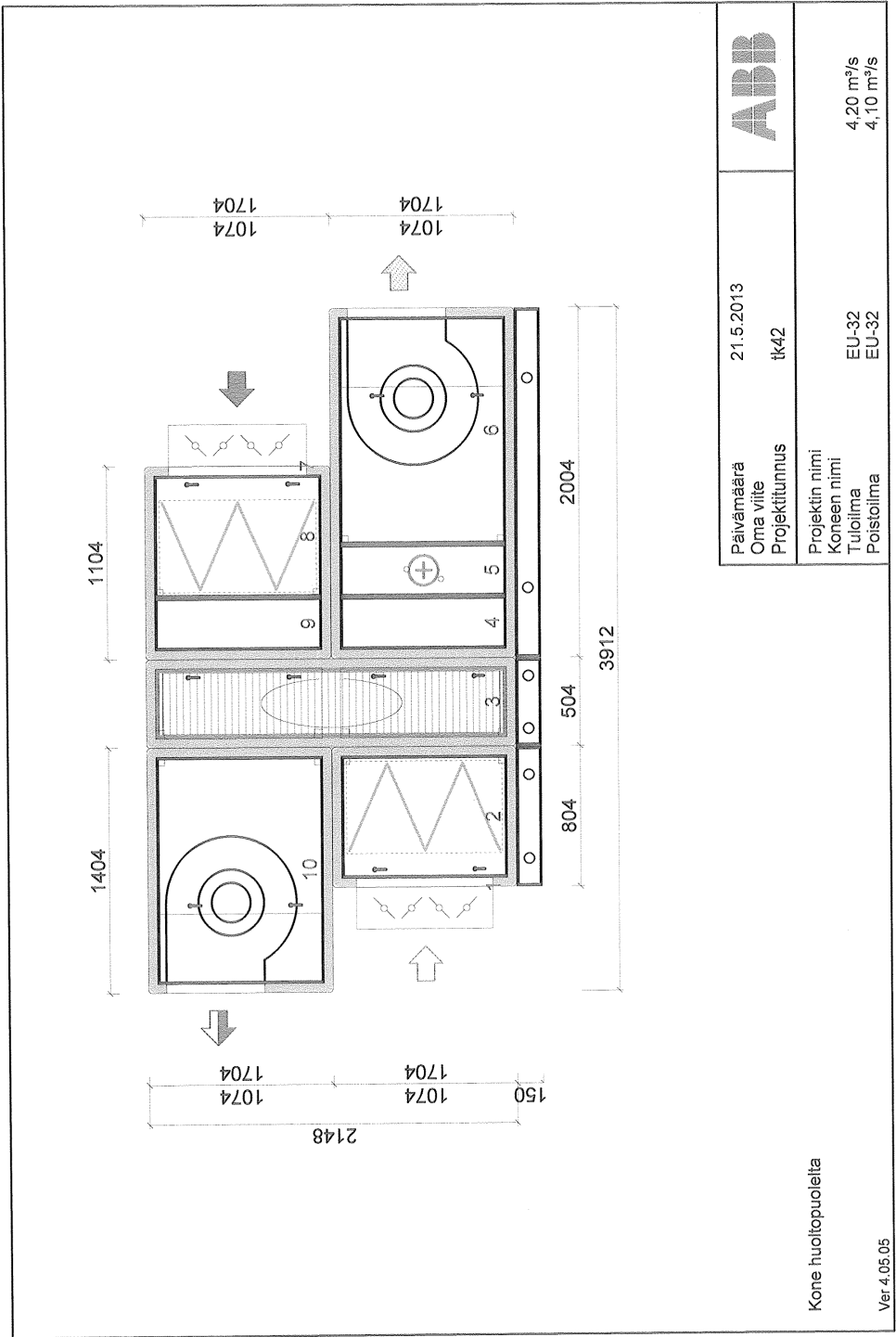
Vanha kulutus: 5,703 kWh/a
Uusi kulutus: 2,435 kWh/a
Säästö: 3,268 kWh/a
Muutos: -57 %

$$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}} = \rho C_p q_{v, \text{tulo}} t_d r t_v (\overline{T_{\text{tulo}}} - T_{\text{u}} - \eta_{\text{t,a}} (\overline{T_{\text{s}}} - T_{\text{u}})) \Delta t / 1000 \quad (4.15)$$

Jos ulkolämpötila on korkeampi kuin tuloilman lämpötilan asetusarvo tai lämmöntalteenotto kykenee nostamaan tuloilman lämpötilan korkeammaksi kuin tuloilman lämpötilan asetusarvo, kaavalla (4.15) laskettu arvo on negatiivinen. Tällöin tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutuksena käytetään arvoa 0 kWh.

jossa
 $Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}}$ tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutus, kWh
 ρ ilman tiheys, 1.2 kg/m³
 C_p ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
 $q_{v, \text{tulo}}$ tuloilmavirta, m³/s
 t_d ilmanvaihtolaitoksen keskinääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
 t_v ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
 r muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan
 T_{tulo} tuloilman lämpötilan asetusarvo jälkilämmityspatterin jälkeen (yleensä 15 .. 18 °C), °C
 T_s sisäilman lämpötila, °C
 T_u ulkoilman lämpötila, °C
 $\eta_{\text{t,a}}$ lämmöntalteenoton tuloilman vuotuinen lämpötilasuhde, -
 Δt ajanjakson pituus, h
1000 kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Ilmanvaihtokoneen TK42 tiedot



ILMANKÄSITTELYKONE EU 2000

Ver 4.05.05

21.5.2013

Sivu 1

tk42

Projektin nimi
Asiakas
Asiakkaan viite
Oma viite
Koneen nimi

Tuloilmavirta	4,20	m³/s	Poistoilmavirta	4,10	m³/s
Ulkoinen painehäviö	250	Pa	Ulkoinen painehäviö	250	Pa
Konekoko	32		Konekoko	32	
Jännite	3*400 V, 50	Hz	Paino	1540	kg
SFP _v	2,50	kW/m³/s			

YHTEENVETO

Toiminto-osat ilmavirran suunnassa	v0 (m/s)	Et (%)	tw (°C)	ts (°C)	dP (Pa)
Tuloilma:					
Liitäntäkehys					8
Pussisuodatin	3,1				183
Lämmönsiirrin	3,5	72,0	-20,0 / 12,4		167
Rakenneosa					0
Ilmanlämmitin	3,1		7,4 / 20,0		76
Puhallin		71,3			809
Poistoilma:					
Liitäntäkehys					7
Pussisuodatin	3,0				180
Rakenneosa					0
Lämmönsiirrin	3,4		25,0 / -5,1		163
Puhallin		70,0			719

TEKNILLINEN ERITTELY
(toiminto-osat ilmavirran suunnassa)

TULOILMA

1	Liitäntäkehys	8 Pa
	Tiiviysluokka T4 (CEN3)	
	Kehysosat sinkittyä terästä	
2	Pitkä suodatin	183 Pa
	Kehysosat sinkittyä terästä	
	Pussisuodatin Synteettinen, suodatusluokka F7 (EU7)	
	Suodatinten lukumäärä	2x1/1, 3x1/2, 1x1/4
	Mitoittava painehäviö	183 Pa
	Alkupainehäviö	133 Pa
	Loppupainehäviö	233 Pa
	Suodatinpinta	12,0 m²
	Otsapintanopeus	3,1 m/s
3	Lämmönsiirrin	167 Pa
	Ei-hygroskooppinen roottori	
	Säädettävä pyörimisnopeus, sisältää säätimen	
	Normaali poimutus	
	Yhtenäinen roottori	
	Kehysosat sinkittyä terästä	
	Teho	192,6 kW
	Lämpötilahyötysuhde	72,0 %
	Huurtumisvaara	
	Tuloilma:	
	Ilman lämpötila	-20,0 / 12,4 °C
	Suhteellinen kosteus	70 / 30 %
	Poistoilma:	
	Ilman lämpötila	25,0 / -5,1 °C
	Suhteellinen kosteus	30 / 100 %
	Pyörimisnopeuden säädin, sisältää moottorin	
	Jännite	1*230 V
	Nimellisteho	90 W
	Nimellisvirta	1,20 A
	Tarvikkeet:	
	Pyörintävahti (kpl 1)	
4	Rakenneos	0 Pa
	Pituus	300 mm
5	Ilmanlämmitin	76 Pa
	Soveltuu paikalla rakennetulle pumppuryhmälle	
	Kupariputket, alumiinilamellit	
	Kehysosat sinkittyä terästä	
	Tehovaihtoehto	4
	Vesiliitännän koko	32
	Teho	64,2 kW
	Ilman lämpötila	7,4 / 20,0 °C
	Vesivirran säätö 3-tieventtiiliryhmällä	

Projektin nimi

21.5.2013

Koneen nimi

Sivu 3

Veden lämpötila ensiöpuolella	60,0 / 30,0 °C
Vesivirta ensiöpuolella	0,52 l/s
Vesivirran säätö 2-tieventtiiliryhmällä	
Veden lämpötila ensiöpuolella	60,0 / 22,9 °C
Vesivirta ensiöpuolella	0,42 l/s
Vesivirta toisiopuolella	0,42 l/s
Painehäviö toisiopuolella	1,2 kPa

6 Puhallin

Taaksepäin kaartuvat siivet, kiilahihnakäyttö	
Puhallinkoko	2
Yksi moottori, Kumiset tärinänvaimentimet	
Kehysosat sinkittyä terästä	
Pyörimisnopeus	2021 rpm
Puhaltimen hyötysuhde	71,3 %
Kokonaispaineenkorotus	809 Pa
kanavaan, mitta	600 * 600 mm
Puhaltimen paineaukon ja mahdollisen kanavakäyrän väliin tarvitaan suoraa kanavaa vähintään 340 mm. Jos käyrä on samaan suuntaan puhaltimen pyörimissuunnan kanssa, ei erillistä suoraa osuutta tarvita.	
Puhaltimen tehontarve	4,77 kW

ÄÄNEN TEHOTASOT

(standardi: AMCA 300-85 fig. 3)

	Lw oktaavikaistoittain (dB)								LwA
Taajuus (Hz)	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB (A)
Koneen imupuolelle	74	78	76	80	78	71	59	47	81
Koneen painepuolelle	81	89	85	87	90	89	83	77	94
Ympäristöön	71	76	66	61	60	59	50	42	66

Moottori:

Käynnistys: Suorakäynnistys	
Yksinopeusmoottori	
Hyötysuhde	88,0 %
Jännite	400 V
Pyörimisnopeus	1450 rpm
Nimellisteho	7,50 kW
Virta	14,80 A
Napaluku	4

Hihnakäyttö:

Kiilahihnakäyttö	
Hyötysuhde	94,4 %

Tarvikkeet:

Suojaverkko, ovi (kpl 1)

POISTOILMA**7 Liitäntäkehys**

7 Pa

Tiiviysluokka T4 (CEN3)
Kehysosat sinkittyä terästä

8 Pitkä suodatin

180 Pa

Kehysosat sinkittyä terästä
Pussisuodatin Synteettinen, suodatusluokka F7 (EU7)

Projektin nimi

Koneen nimi

Suodatinten lukumäärä	2x1/1, 3x1/2, 1x1/4
Mitoittava painehäviö	180 Pa
Alkupainehäviö	130 Pa
Loppupainehäviö	230 Pa
Suodatinpinta	12,0 m ²
Otsapintanopeus	3,0 m/s

9 Rakenneosa**0 Pa**

Pituus

300 mm

3 Lämmönsiirrin**163 Pa**

Katso tiedot tuloilmapuolelta

10 Puhallin

Taaksepäin kaartuvat siivet, kiilahihnakäyttö

2

Puhallinkoko

Yksi moottori, Kumiset tärinänvaimentimet

Kehysosat sinkittyä terästä

Pyörimisnopeus

1945 rpm

Puhaltimen hyötysuhde

70,0 %

Kokonaispaineenkorotus

719 Pa

kanavaan, mitta

600 * 600 mm

Puhaltimen paineaukon ja mahdollisen kanavakäyrän väliin tarvitaan suoraa kanavaa vähintään

340 mm. Jos käyrä on samaan suuntaan puhaltimen pyörimissuunnan kanssa, ei erillistä

suoraa osuutta tarvita.

4,21 kW

Puhaltimen tehontarve

ÄÄNEN TEHOTASOT

(standardi: AMCA 300-85 fig. 3)

Taajuus (Hz)	Lw oktaavikaistoittain (dB)								LwA
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB (A)
Koneen imupuolelle	74	78	76	80	79	72	62	50	82
Koneen painepuolelle	80	88	84	86	89	88	82	76	93
Ympäristöön	70	75	65	60	59	58	49	41	65

Moottori:

Käynnistys: Suorakäynnistys

Yksinopeusmoottori

87,0 %

Hyötysuhde

400 V

Jännite

1450 rpm

Pyörimisnopeus

5,50 kW

Nimellisteho

11,10 A

Virta

4

Napaluku

Hihnakäyttö:

Kiilahihnakäyttö

94,2 %

Hyötysuhde

Tarvikkeet:

Suojaverkko, ovi (kpl 1)